Г. Н. Голубев

# ОСНОВЫ ГЕОЭКОЛОГИИ

УЧЕБНИК

КНОРУС

SHOUT
SHARE
IT

# Annotation

Изложены основы геоэкологических знаний, показано значение междисциплинарного научного направления, изучающего взаимосвязанные геосферы в тесной интеграции их с социальной сферой. Освещены природные и социально-экономические последствия изменения геосфер под влиянием антропогенного фактора. Рассмотрены природные и социально-экономические факторы экосферы, проблемы глобальных изменений, геоэкологические проблемы атмосферы, гидросферы, литосферы, биосферы. Даны геоэкологические аспекты природно-техногенных систем. С геоэкологических позиций оценены современное состояние и устойчивость биосферы.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по экологическим специальностям.


- Геннадий Голубев
  - Предисловие
  - Часть I
    - I. Геоэкология: система наук об интеграции геосфер и общества
      - I.1. Основные понятия
      - I.2. Взаимозависимость экосферы и общества
      - I.3. Системный характер проблем геоэкологии
      - I.4. Краткая история развития геоэкологических взглядов
    - II. Природные факторы экосферы
      - II.1. Геосферы и экосфера
      - II.2. Земля как планета. геоэкологические следствия
      - II.3. Энергетические и вещественные особенности экосферы
        - 
        - II.3.1. Тепловой баланс экосферы
        - II.3.2. Глобальные циклы вещества
      - II.4. Роль биоты в функционировании экосферы
      - II.5. Географическая зональность ландшафтов мира и ее эволюция
    - III. Социально-экономические факторы экосферы
      - III.1. Основные факторы состояния

экосферы
- III.2. Население мира как геоэкологический фактор
- III.3. Потребление природных ресурсов и геоэкологических «услуг»
  - III.3.1. Рост потребления
  - III.3.2. Природные ресурсы
  - III.3.3. Различия в уровнях потребления
- III.4. Геоэкологическая роль технического прогресса
- III.5. Геоэкологические аспекты внешнего долга государств и «свободной торговли»
- III.6. Богатство стран и доля природного капитала
- III.7. Рост и развитие. Необходимость изменения стратегии

○ Часть II
- IV. Глобальные изменения и стратегии человечества
  - IV.1. Переходный период и его особенности
  - IV.2. Несущая способность (потенциальная емкость) территории
  - IV.3. Элементы стратегии выживания человечества
  - IV.4. Понятие устойчивого развития
  - IV.5. Индикаторы геоэкологического состояния и устойчивого развития
  - IV.6. Понятие об экологической экономике
  - IV.7. Управление состоянием окружающей среды на локальном уровне

○ Часть III
- 
- V. Атмосфера. Влияние деятельности человека на атмосферу и климат
  - V.I. Основные особенности атмосферы и климата Земли[3]
  - V.2. Антропогенное изменение климата и его последствия
    - V.2.1. Парниковый эффект
    - V.2.2. Газы с парниковым эффектом
    - V.2.3. Воздействие тропосферных аэрозолей на парниковый эффект

- V.2.4. Гидроклиматические последствия антропогенного парникового эффекта
- V.2.5. Природные и социально-экономические последствия изменения климата
- V.2.6. Стратегии, связанные с проблемой изменения климата
- V.3. Деградация озонового слоя
- V.4. Асидификация экосферы и кислотные осадки
- V.5. Локальное загрязнение воздуха

- VI. Гидросфера. Влияние деятельности человека
  - VI.I. Основные особенности гидросферы[4]
  - VI.2. Воды суши и деятельность человека
    - VI.2.1. Основные функции вод суши в экосфере
    - VI.2.2. Геоэкологические аспекты водного хозяйства
      - VI.2.2.1. Водные ресурсы и водообеспеченность
      - VI.2.2.2. Регулирование речного стока
      - VI.2.2.3. Переброски речного стока
      - VI.2.2.4. Управление водопотреблением и водохозяйственный баланс
      - VI.2.3. Геоэкологические особенности бессточных областей мира
      - VI.2.4. Вопросы качества вод суши
      - VI.2.5. Дефицит и деградация вод суши
  - VI.3. Мировой океан. Влияние деятельности человека
    - VI.3.1. Основные геоэкологические особенности океанов и морей
    - VI.3.2. Деятельность человека, влияющая на состояние океанов и морей
    - VI.3.3. Геоэкологические проблемы морских побережий и внутренних

морей
- VII. Геоэкологические проблемы использования почвенных и земельных ресурсов
  - VII.1. Основные функции сферы почв (педосферы)[10]
  - VII.2. Антропогенная деградация почв
  - VII.3. Земельные ресурсы мира и их использование
  - VII.4. Геоэкологические проблемы земледелия
    -
    - VII.4.1. Водная и ветровая эрозия почв
    - VII.4.2. Геоэкологические последствия применения удобрений
    - VII.4.3. Геоэкологические последствия применения пестицидов
    - VII.4.4. Уплотнение почвы
    - VII.4.5. Геоэкологические проблемы орошения
  - VII.5. Геоэкологическая устойчивость сельского хозяйства
- VIII. Литосфера. Влияние деятельности человека
  - VIII.1. Строение Земли и литосферы[11]
  - VIII.2. Большой круговорот вещества и роль в нем человека
  - VIII.3. Антропогенные воздействия на экзогенные процессы
- IX. Биосфера и ландшафты Земли: влияние деятельности человека
  - IX.1. Основные особенности биосферы и ее роль в экосфере[12]
  - IX.2. Биотическое управление экосферой и ponü äеятелüности человека
  - IX.3. Современные ландшафты мира
  - IX.4. Проблемы обезлесения
  - IX.5. Проблемы опустынивания
  - IX.6. Проблемы сохранения биологического разнообразия Земли

○ Часть IV
- X.1. Природно-техногенные системы
- X.2. Геоэкологические аспекты урбанизации
- X.3. Геоэкологические аспекты энергетики
- X.4. Геоэкологические проблемы

промышленности
- X.5. Геоэкологические аспекты транспорта
- X.6. Геоэкологические аспекты сельского хозяйства

- Часть V
- Послесловие: намерения и реальность
- Литература
- Тематическая подборка издательства «КНОРУС»

- notes
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
  - 6
  - 7
  - 8
  - 9
  - 10
  - 11
  - 12
  - 13
  - 14
  - 15
  - 16

# Геннадий Голубев
# Основы геоэкологии: учебник

# Предисловие

Во второй половине XX в. перед человечеством возникла проблема, существовавшая всегда, но ставшая по-настоящему глобальной только в последние полвека. В своей эволюции человечество к началу XXI в. покинуло станцию «Покорение природы», проскочило на полном ходу полустанок «Преобразование природы» и, разогнавшись и не снижая скорости, мчится к станции «Тупик». Эта станция может стать последней. Многообразные и обширные потребности человечества очевидно превышают тот объем ресурсов, которым Земля располагает. Тупик заключается в том, что наша цивилизация построена на ограблении планеты, причем неумелый и жадный грабитель портит намного больше, чем ему было бы нужно для достаточного, но умеренного благоденствия.

Аппетиты грабителя возрастают, а возможности для грабежа уже почти не увеличиваются. Неизбежно, раньше или позже, величина потребления превысит сумму ресурсов и «услуг» природы. Возникнет, если уже не возник, грозный глобальный кризис, ведущий к катастрофической деградации экосферы, то есть области взаимодействия геосфер и человечества. При оптимистическом взгляде на глобальную ситуацию кризис еще в будущем, при пессимистической оценке он уже наступил. Пока поезд мчится все по той же колее, он неизбежно летит к станции «Тупик», или, что хуже, «Катастрофа».

Беда в том, что только небольшая доля людей на Земле понимает всю серьезность кризисной ситуации и рассматривает ее как проблему номер один для человечества.

Возрастание численности населения мира, опережающий рост его потребностей, неуклонное расширение использования ресурсов Земли, внедрение новых технологий и возрастание производства в энергетике, промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте, антропогенное преобразование ландшафтов мира, усложнение и расширение межнациональных хозяйственных связей, неуклонное усложнение политических структур – все эти и многие другие факторы привели к возрастающей антропогенной нагрузке на окружающую человека среду, с усилением взаимодействия между средой и обществом. В XX в., и в особенности во второй его половине, антропогенная нагрузка экспоненциально усиливалась, став одним из важнейших факторов существования общества.

Непрерывно возрастающая антропогенная нагрузка на экосферу, или область взаимодействия геосфер Земли и

общества, приводит к различным формам ее деградации с неблагополучными последствиями для общества.

Соответственно, возник и расширяется круг задач междисциплинарного характера, для которых не существует предшествующего опыта и не разработана методология исследования. В частности, возникли проблемы взаимодействия геосфер Земли с обществом на различных иерархических уровнях, от планетарного до локального.

Возрастающая потребность в решении этих проблем привела к возникновению нового междисциплинарного направления, стихийно получившего в русской литературе и практике название «геоэкология». По всей видимости, в англоязычной литературе его наиболее близкий, но расширенный эквивалент это «the science of global environmental change».

Потребность общества в развитии геоэкологии отразилась в создании соответствующих кафедр и факультетов во многих высших учебных заведениях России.

Учебник «Основы геоэкологии» предназначен для студентов старших курсов университетов, обучающихся на факультетах наук о Земле (географическом, геологическом, биологическом, почвенном и др.). Студентам, изучающим геоэкологию на физических, химических, юридических, экономических и других факультетах, потребуется предварительное ознакомление с основами наук о Земле.

Книга может быть также полезна широкому кругу лиц, интересующихся глобальными вопросами геоэкологии и природопользования. При работе над книгой автор ставил задачу, сохраняя краткость изложения, максимально полно использовать накопившийся к настоящему времени мировой опыт как практической деятельности, так и научных исследований в области, относящейся к проблемам геоэкологии. В этой связи автор использовал по возможности все основные публикации по этому кругу вопросов, выпущенные на английском и русском языках.

Книга подготовлена на географическом факультете Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Автор благодарен руководству факультета за благоприятную рабочую обстановку и поддержку. В особенности автор признателен сотрудникам кафедры физической географии мира и геоэкологии.

Автор хотел бы также поблагодарить следующие организации и лица, оказавшие содействие на различных этапах работы:

Программу ООН по окружающей среде (ЮНЕП), в особенности проект «Глобальная экологическая перспектива»

(GEO);

Центр международных проектов бывшей Госкомэкологии России;

Институт гидросферно-атмосферных наук Университета г. Нагоя (Япония) в лице проф. Й. Фукушима;

Центр исследований и конференций Фонда Рокфеллера в Белладжио (Италия).

Взгляды и положения, представленные в этой книге, не обязательно отражают позицию вышеупомянутых организаций и лиц.

# Часть I
# Экосфера

# I. Геоэкология: система наук об интеграции геосфер и общества

## I.1. Основные понятия

Три корня греческого происхождения связываются воедино в слове «геоэкология»: ГЕО/ЭКО/ЛОГ/ия. Корень слова можно рассматривать как иероглиф, обозначающий понятие. В середине находится корень, происходящий от греческого «ойкос», то есть «дом». Это дом для живых существ разных уровней: видов, их комбинаций, складывающихся в экосистемы, биомов как крупных пространственных биологических систем, и всей совокупности живого вещества Земли, составляющего биосферу. В данном случае имеются в виду взаимоотношения и взаимосвязи как внутри «дома», так и между «домом» и окружающим его миром. Отсюда основа геоэкологии: исследование Земли как системы, с особым интересом к глобальным (общемировым) вопросам, неизбежно находящимся в пересекающихся сферах как естественных, так и общественных наук.

Это «дом» и для человеческого общества с самого начала его возникновения. Однако в последнее время, в особенности в последние десятилетия, человечество превратилось в столь мощную, стихийную, общемировую силу, что оно не просто живет в своем доме, но и своими действиями преобразует его, вплоть до разрушения отдельных его компонентов. Важность понятий, стоящих за корнем «ойкос» и связанных с человечеством, в историческом масштабе времени экспоненциально возрастает. Антропогенные воздействия все в большей степени приобретают необратимый и даже катастрофический характер. Слово «экология» стало преимущественно отражать комплекс взаимоотношений человека и природы. Первое значение этого слова, используемое еще с 1866 г. Э. Геккелем, обозначает раздел биологии, исследующий взаимозависимости между живыми существами и их окружением.

Корень «гео» в слове «геоэкология» восходит к греческой богине Земли Гее. Он традиционно охватывает науки о Земле, подчеркивая их единство и взаимозависимость. Корень «гео» ставит на первое место Землю в целом, подчеркивая необходимость понимания, прежде всего, общеземных, глобальных процессов, а затем уже на этой базе явлений более низкого иерархического уровня, относящихся к отдельным регионам и местностям.

В простейшем случае корень «гео» как бы представляет неживую природу, в то время как корень «эко» обозначает ее живую часть. В этом смысле комбинация «геоэко» фактически отражает единство неживой и живой природы. Комбинация «геоэко» напоминает также о зависимости состояния нашего «дома», то есть Земли, от деятельности человека.

Корень «логос» обозначает науку, или изучение чего-либо, и в естественных, и в общественных науках, и в таком смысле чрезвычайно широко употребляется.

Геоэкология имеет дело не с Землей в целом, а лишь с относительно тонкой поверхностной оболочкой, где пересекаются геосферы (атмосфера, гидросфера, педосфера, литосфера и биосфера) и где живет и действует человек. Из имеющихся нескольких названий этой комплексной оболочки термин ***экосфера*** наиболее точно отражает ее суть и потому является наиболее подходящим, хотя и пока не общепринятым.

***Экосфера – это всемирная область интеграции геосфер и общества. Геоэкология – междисциплинарное научное направление, изучающее экосферу как взаимосвязанную систему геосфер в процессе ее интеграции с обществом.*** Геоэкология появилась, когда деятельность человека стала существенным фактором преобразования Земли. Она основывается на глобальном, общемировом подходе, но на этой основе не меньшее значение имеют проблемы регионального и локального характера.

Число сочетаний понятий и предметов, находящихся в пределах ведения геоэкологии, чрезвычайно велико. В рамках широкого понятия «геоэкология» находятся многие, весьма разнообразные, мультидисциплинарные научные направления и практические проблемы. Неудивительно, что термин «геоэкология» не получил еще общепринятого определения. Потребуется еще некоторое, может быть, значительное время на то, чтобы геоэкология выкристаллизовалась как область научного познания.

В настоящее время складываются два междисциплинарных научных направления, геоэкология и природопользование, переплетенных друг с другом и пока еще слабо дифференцированных.

***Природопользование – это междисциплинарное научное направление, исследующее общие принципы использования обществом природных ресурсов и геоэкологических «услуг».*** При этом в понятие экологических «услуг» входят разнообразные явления, такие как процессы поддержания устойчивости экологических и других природных систем, как механизмы

естественной самоочистки природных и природно-техногенных систем от загрязнения, как комплексная роль биологических систем в качестве источника возобновимых ресурсов, резервуара биологического разнообразия, механизма поддержания качества воды и воздуха, объекта наслаждения природой и пр.

Геоэкология и природопользование тесно взаимосвязаны: без понимания процессов (как естественных, так и антропогенных) на глобальном уровне невозможно устойчивое использование природных ресурсов, тогда как без понимания проблем использования ресурсов геоэкология оказывается недостаточной. Основное различие между геоэкологией и природопользованием в том, что первое в большей степени направлено на понимание сверхсложной системы, называемой экосфера, в то время как второе больше ориентировано на рациональное использование ее ресурсов. Можно сказать, что геоэкология в большей степени основана на естественных науках о Земле, в то время как природопользование в такой же степени базируется на экономических науках, но в том и другом случае это междисциплинарные направления, относящиеся и к естественным, и к общественным наукам.

Наряду с понятием «экосфера» существует еще несколько подобных понятий, употребляемых в литературе. Как правило, они плохо определены, и границы между ними нечетки. Это такие понятия, как окружающая среда, природная среда, географическая оболочка, биосфера и др. Поскольку экосфера – это общемировая область интеграции природы и общества, она отличается от понятия «географическая оболочка», в котором на первое место ставится взаимосвязь и взаимодействие природных сфер, или геосфер (атмосферы, гидросферы, педосферы, биосферы и литосферы).

> Выражение «окружающая среда» употребляется чаще всех других подобных понятий. В русском языке оно используется для обозначения понятий, отражающих новые междисциплинарные области знания, касающиеся взаимоотношений человека с окружающей его средой. Ему соответствуют: «environment» по-английски и по-французски, «umwelt» по-немецки, «medio ambiente» по-испански, «ambiente» по-итальянски. Часто возникает необходимость образовать прилагательное от словосочетания «окружающая среда». Но, как известно, от двухсловного выражения нельзя образовать соответствующее ему прилагательное. Поэтому в русском языке термину «окружающая среда»

соответствует прилагательное «экологический». Это создает определенную путаницу в понятиях. В английском языке ситуация проще: слову «environment» соответствует прилагательное «environmental», отличающееся по смыслу от слова «ecological», происходящего от «ecology».

Как и экосфера, термин «окружающая среда» подчеркивает взаимоотношения общества с окружающей его природой. В отличие от экосферы, где основа – глобальная, а на ее базе возникают локальные задачи, экологические проблемы в понятии «окружающая среда» носят скорее локальный характер, а из них уже выстраиваются глобальные проблемы. Кроме того, в названии «окружающая среда» просвечивают интересы, ориентированные на человека. Часто даже говорят и пишут «окружающая человека среда». Таким образом, понятие «окружающая среда» антропоцентрично, то есть оно ставит в центр нашего мира человека, забывая о том, что человек – это часть природы. Термин «экосфера» более нейтрален или даже биоцентричен.

Если представить окружающую среду в виде двух основных компонентов, естественного и общественного, то термин «природная среда» относится к первому.

Иногда экосферу Земли представляют в виде трех основных компонентов: геосферы, техносферы и социосферы, отражающих, соответственно, природную, техногенную и общественную части единой системы Земля. Такое деление представляется несколько искусственным, механистичным.

Термин «геологическая среда», чаще употребляемый в геологии, отражает интерес и вовлеченность этой науки в геоэкологические проблемы, особенно в проблемы взаимодействия верхних горизонтов литосферы и деятельности человека. Отсюда более корректный термин «экологическая геология».

В литературе, в особенности публицистической и научнопопулярной, часто используется понятие «биосфера» в приложении ко всей совокупности природных явлений и процессов, взаимодействующих с обществом. Термин «биосфера» ближе всего соответствует понятию «природная среда». Он получил широкое распространение благодаря В. И. Вернадскому, который, используя его, справедливо подчеркивал таким образом исключительную роль живого вещества в формировании и функционировании Земли как системы. Однако роль человека в этом термине в явном виде не определена. Кроме того, понятие «биосфера» часто обозначает также сферу живого вещества как

одну из геосфер Земли, наряду с литосферой, атмосферой, педосферой и гидросферой, а путаница в основных понятиях нежелательна. В этой книге, как и во многих других публикациях, слово «биосфера» обозначает одну из геосфер Земли.

## I.2. Взаимозависимость экосферы и общества

В основе существования общества лежит использование ресурсов экосферы. Они включают как, собственно, природные ресурсы, так и геоэкологические «услуги». К первым относятся полезные ископаемые (нефть, уголь, руды различных металлов, другие минеральные ресурсы), ресурсы биосферы (урожай сельскохозяйственных культур, лесные ресурсы, рыбные, другие растительные и животные ресурсы), почвы, вода, воздух и пр. В результате приложенного труда природа предоставляет человеку основные категории товаров. К их числу прежде всего относятся: продовольствие, одежда, строительные материалы, используемые в медицине растения, дикие прародители домашних растений и животных и пр.

К категории геоэкологических «услуг» можно отнести многочисленные природные механизмы и процессы, объединяемые понятием «системы жизнеобеспечения». Это, например, механизмы естественной самоочистки природных и природно-технических систем от загрязнения и процессы, поддерживающие качество воды и воздуха. К этой же категории относятся естественные экологические системы, отличающиеся разнообразным набором услуг. Например, лесные экосистемы – это резервуар биологического разнообразия, это богатейший источник биологических ресурсов, это мощнейший фактор поддержания качества воды и воздуха.

Опыт последнего времени показывает, что относительная важность и приоритетность объектов природопользования постепенно смещается от природных ресурсов к геоэкологическим «услугам». В дальнейшем мы будем понимать под словом «ресурсы» как, собственно, ресурсы, так и геоэкологические «услуги».

К категориям услуг можно отнести процессы синтеза и деструкции органического вещества, поддержание круговорота воды (гидрологического цикла), относительно устойчивый для данного места климат, сохранение химического состава атмосферы, очистку воды и воздуха от загрязнений, формирование почв и сохранение их устойчивости, опыление диких и культурных растений, поглощение и детоксикацию загрязнителей, накопление и циркуляцию питательных для

растений веществ (биогенов). Сюда же относится и наслаждение природой, использование ее в качестве рекреационного ресурса.

На первых этапах своего существования человек собирал плоды экосистем суши (леса, степи, саванны и пр.), съедобные водоросли, моллюсков, ракообразных и др., ловил рыбу и охотился. Это был период, когда человек зависел от ресурсов биосферы и для поддержания своего устойчивого состояния инстинктивно должен был действовать, не нарушая эти ресурсы, а существуя за счет ежегодного прироста биомассы. Охотничье-собирательские, так же как и примитивные скотоводческие и земледельческие, типы хозяйства не выходили за пределы устойчивого использования ресурсов биосферы и практически не влияли на другие геосферы Земли. Для пропитания каждому первобытному охотнику и скотоводу нужна была территория, наибольшая по сравнению с другими видами животных, по некоторым данным до 100 км$^2$/чел. При этом человек ежедневно должен был проходить расстояния, наибольшие по сравнению со всеми другими живыми существами, что предопределило его эволюцию в направлении развития его умственных способностей.

По мере роста численности населения, хотя и весьма не интенсивного, при таком типе хозяйства неизбежно возникали локальные экологические кризисы, когда на определенной территории (или прибрежной акватории) удовлетворяемые потребности человека устойчиво превышали ежегодно возобновляемую часть биологических ресурсов. Кризисы разрешались или через снижение потребления привычного продукта (гибель части населения от голода, миграции населения, полное или частичное переключение на другую пищу и пр.), или же человек начинал потреблять больше, чем данная экосистема могла устойчиво производить, трансформируя или даже полностью преобразуя экосистему. Это оттягивало наступление кризиса, но делало его в конечном итоге более сильным и более катастрофическим. Примером экологического кризиса такого типа были, возможно, события на перигляциальных равнинах умеренного пояса Евразии, когда человек, способствуя исчезновению мамонтов и других крупных животных, лишал себя тем самым источника белковой, высококалорийной пищи.

Дальнейший рост населения и его потребностей не мог быть обеспечен посредством охоты, рыбной ловли и собирательства: этих ресурсов стало недостаточно. Это привело часть человеческого общества к одомашниванию диких животных с постепенной селекцией их пород и, следовательно, к пастбищному скотоводству, а другую часть – вначале к

примитивному, но затем ко все более усложняющемуся земледелию. Тем самым человек перешел от относительно устойчивого использования экосферы, мало ее изменяющего, к ее преобразованию.

Открытые ландшафты (степи, саванны, прерии, пустыни и пр.) в основном относятся к аридным областям разной степени засушливости. В их пределах начали возникать расширяющиеся очаги скотоводства, в сильной степени преобразующего исходные природные ландшафты (изменение состава и состояния растительного покрова и состояния почвы вследствие выпаса скота, запланированных или естественных пожаров травы и пр.).

Земледельческий тип хозяйства требует большего увлажнения, и потому очаги земледелия появились на границе лесных и открытых ландшафтов, внутри лесных территорий или же в интразональных ландшафтах (например, речных долинах), способствовавших возникновению орошения. Превращение природных экосистем в пашню – основная линия трансформации ландшафтов при неорошаемом земледелии. При этом происходят очень глубокие преобразования, затрагивающие все компоненты ландшафтов.

Появление скотоводства и земледелия стало важнейшим событием, без которого дальнейшее развитие человеческого общества было бы попросту невозможно. В среднем на одного человека при пастбищном типе хозяйства необходимо приблизительно 10—100 га кормовой территории. При подсечно-огневом земледелии площадь, достаточная для прокорма одного человека, не превышает 10 га. Плотность использования земли при традиционном, «обычном», земледелии порядка 1 га/чел, а при современном высокоинтенсивном земледелии эта величина достигает 0,2 га/чел. Таким образом, число людей на единице обрабатываемой площади, или, иными словами, потенциальная емкость территории, может быть увеличено.

Возникшие скотоводство и земледелие позволили временно разрешить геоэкологический кризис, связанный с дефицитом земельных ресурсов при уровне технологии прошлого. В то же время *увеличение потребления человеком ресурсов биосферы и начавшееся преобразование естественных ландшафтов Земли стали первым, очень серьезным шагом в сторону антропогенного преобразования экосферы.*

Следующим серьезным шагом в развитии человечества, а также и в антропогенном преобразовании экосферы, стало обращение к ресурсам литосферы, а именно добыча полезных ископаемых. Сначала это были металлические руды, в основном для изготовления орудий труда, а затем во все большей степени и

другие полезные ископаемые. Роль полезных ископаемых для человеческого общества все более усиливалась, дойдя до такой степени, что добыча и использование горючих ископаемых (нефть, газ, уголь) стали одним из краеугольных камней современной экономики, но в то же время и одним из важнейших неблагоприятных факторов состояния экосферы.

Развитие промышленности стало следующим важнейшим фактором в антропогенной эволюции экосферы. Промышленность использует продукты литосферы и биосферы, обязательно нуждается в ресурсах гидросферы и при отсутствии специальных мероприятий неизбежно влияет на загрязнение атмосферы и гидросферы. Таким образом, все геосферы Земли становятся подвержены антропогенному влиянию и преобразованию. Для периода развития промышленности обычно характерны локальные геоэкологические кризисы, связанные чаще всего с тем, что выбросы индустриальных отходов в воду или воздух превосходят самоочищающую способность рек или местных воздушных бассейнов.

Локальные и региональные промышленные революции чаще всего сопровождались чрезвычайно тяжелыми экологическими последствиями. К ним относятся, например, лондонские туманы, загрязнение Рейна и озера Эри, тяжелая экологическая ситуация в старопромышленных районах России и др. Художественная литература Х!Х и начала ХХ века содержит много примеров таких ситуаций. Не следует думать что локальные геоэкологические кризисы не возникают сейчас. За период между 1953 и 1973 гг. объем промышленной продукции мира увеличился более чем втрое, или на 6 % в год. Столь бурный рост был возможен частично за счет истощения природных ресурсов и загрязнения окружающей среды, в особенности в развивающихся странах.

Развитие сельского хозяйства шло двумя пересекающимися путями, экстенсивным и интенсивным. С одной стороны, расширялись площади, используемые под пашню и выпас скота, с соответствующим глубоким преобразованием ландшафтов. Более половины суши Земли находится под серьезным воздействием человека в виде пашни, пастбищ и лесов, включенных в хозяйственное использование. С другой стороны, при интенсивном развитии сельского хозяйства росла площадь орошаемых и осушаемых земель, увеличивалось использование сельскохозяйственных машин, применение химических веществ, стойловое содержание скота и пр. Состояние используемых земель во многих случаях ухудшалось вследствие эрозии почв, изменения их химических и физических свойств, заболачивания и пр. Эти факторы и процессы привели к значительному

преобразованию ландшафтов Земли и к изменению биосферы, гидросферы и атмосферы.

Города и сопутствующие им инженерные сооружения, такие как промышленные зоны, склады, дороги, аэродромы, порты, очистные сооружения, свалки и пр., постепенно увеличивались в размерах и интенсивности своего воздействия на экосферу, практически полностью преобразуя на своей территории первичные ландшафты в антропогенные.

Роль деятельности человека в преобразовании экосферы увеличивалась в течение последних 250 лет. Это отразилось в росте численности населения мира и валового производства (рис. 1).

Человечество в процессе своего развития, при использовании природных ресурсов, накопило значительный капитал в виде инженерных сооружений (городов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, дорог, портов и пр.), в виде образованных, здоровых и умелых членов общества, в виде способности управлять обществом демократическими методами. Весь имеющийся в мире капитал можно условно разделить на четыре основные категории: природный капитал, человеческий капитал, производственно-финансовый капитал, социальный (общественный) капитал. Позднее мы будем обсуждать этот вопрос более подробно.

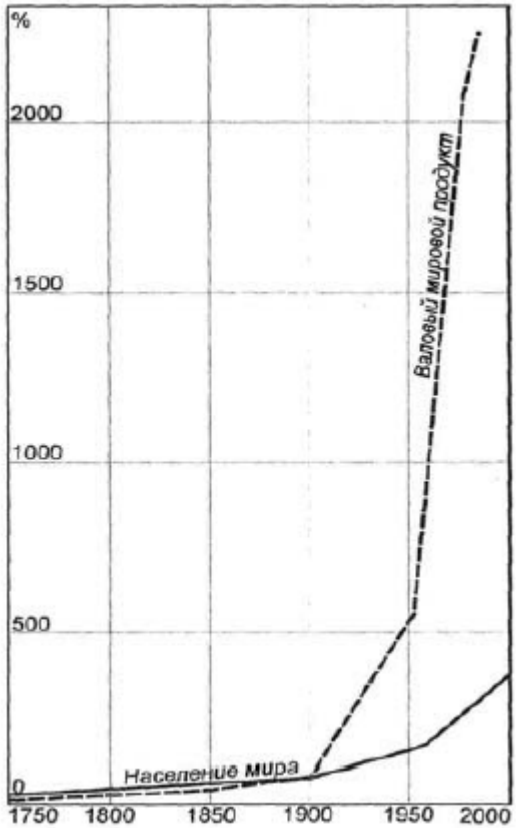


**Рис. 1**. Рост промышленного производства и численности населения мира. Показатели за 1900 г. Приняты за 100%

*Увеличивающееся использование человеком богатств экосферы сформировало противоречие между постоянно растущим воздействием общества на экосферу и ограниченными размерами Земли и ее ресурсов.* ***Отсюда вытекает неизбежность глобального экологического кризиса. Это важнейшее обстоятельство ставит на повестку дня проблему выживания человечества.***

Часть специалистов считает, что кризис уже наступил, потому что возникает дефицит природных ресурсов (в широком смысле этого слова) и имеются многочисленные свидетельства нарушения устойчивости (гомеостазиса) экосферы. Имеется также много примеров глубоких изменений геосфер Земли и ландшафтов планеты.

Таким образом, можно полагать, что кризис уже наступил. На этот счет нет единой точки зрения. Другие специалисты возражают, полагая, что человечество найдет пути не допустить кризиса, хотя и согласны, что причины кризиса объективно

существуют.

Человек значительно, и по большей части бессознательно, преобразовал Землю в результате своей хозяйственной деятельности. В особенности большие изменения произошли и происходят в последние десятилетия, причем они охватывают как природную, так и общественную сферы. К наиболее существенным, общепланетарным изменениям следует отнести:

• трансформацию ландшафтов Земли;

• изменения глобальных биогеохимических циклов вещества;

• изменения особенностей и режима геосфер;

• сокращение биологического разнообразия.

Эти изменения столь значительны, что для их обозначения в научной и политической литературе на английском языке возник и стал общепринятым и общепонятным специальный термин ***Global Change***, что может быть переведено как ***глобальные изменения***. Более детальный анализ этих процессов выполнен в соответствующих главах.

Итак, основные особенности взаимодействия человека и природы заключаются в следующем.

– Существование и развитие человечества основано на постоянном использовании природных ресурсов экосферы (биологических, почвенных, земельных, водных, минеральных) и ее пространства, а также ее систем жизнеобеспечения (геоэкологических «услуг»).

– В процессе своей деятельности человечество во все большей степени влияет на системы жизнеобеспечения Земли, такие как глобальный круговорот воды вместе с природной самоочищающей способностью водоемов, атмосферу с ее постоянным химическим составом и способностью поглощать загрязнения, механизм образования первичной биологической продукции посредством фотосинтеза как основы питания всех живых существ, включая человека, и др.

– В процессе развития человечества взаимодействие человека и природы началось в пределах биосферы, пришло в гидросферу, продолжилось в литосфере и, наконец, в атмосфере, охватив тем самым всю экосферу. Интенсивность и глубина взаимодействия постоянно усиливаются. В особенности резко это взаимодействие увеличивалось в последние десятилетия XX века.

– Использование природных ресурсов и систем жизнеобеспечения приводило к геоэкологическим кризисам, когда потребности человека превышали имеющиеся в данный момент ресурсы или когда выбросы продуктов деятельности человека в окружающую среду превышали ее самоочищающую способность. Такие частные, или локальные, геоэкологические

кризисы – неизбежная особенность системы взаимоотношений природы и человеческого общества. Разрешение кризисов приводит к частичному преобразованию геосфер Земли и, следовательно, экосферы. При этом, по мере развития общества и возникновения геоэкологических кризисов, происходит постепенное и, по-видимому, необратимое накопление антропогенных преобразований экосферы.

– Ресурсы и размеры экосферы, так же как и мощность систем ее жизнеобеспечения, ограничены. В то же время потребности человечества пока непрерывно нарастают. Отсюда вытекает очевидная неизбежность глобального геоэкологического кризиса, связанного с противоречием между ограниченными ресурсами и размерами Земли и возрастающими потребностями человека.

## I.3. Системный характер проблем геоэкологии

Система – это вещественно-энергетическая совокупность взаимосвязанных компонентов, объединенных прямыми и обратными связями в некоторое единство. Экосфера – очень сложная экосистема. *Геоэкологические проблемы отличаются, как правило, системностью.* Прежде всего, это вытекает из того обстоятельства, что они сами – результат взаимодействия сложных систем, как геосфер между собой, так же как и между геосферами и обществом, то есть они суть сплав естественных, социальных, экономических и политических проблем.

Геоэкологические системы – это, как правило, сложные саморегулируемые и самоорганизующиеся системы. Существуют *системы закрытые,* когда не происходит обмен веществом, энергией, информацией через их внешние границы, и, наоборот, *системы открытые.* Естественные природно-территориальные системы (экосистемы, ландшафты), как правило, закрытые, с высокой степенью сбалансированности их компонентов. По мере усиления антропогенного воздействия их сбалансированность снижается, а степень открытости увеличивается.

В природе, а тем более во взаимодействии общества и природы, существует бесчисленное множество прямых и обратных связей между компонентами, далеко не всегда хорошо изученных. Приведем примеры прямой и обратной связи. Неравномерное нагревание Земли на различных широтах вследствие наклона земной оси к плоскости движения Земли вокруг Солнца вызывает меридиональную циркуляцию атмосферы. Чем больше наклон оси, тем неравномернее нагревание и, следовательно, интенсивнее циркуляция. Это прямая связь. А вот пример отрицательной обратной связи. Известно, что чем температура

воздуха выше, тем интенсивнее фотосинтез. Это приводит к увеличению поглощения растительностью содержащегося в атмосфере углекислого газа, а значит, к уменьшению парникового эффекта и, следовательно, в конечном итоге работает на понижение температуры воздуха.

Отличительная особенность экосферы – наличие гомеостазиса, то есть состояния внутреннего динамического равновесия системы, поддерживаемого регулярным возобновлением ее структур, вещественно-энергетического состава и постоянной функциональной саморегуляцией ее компонентов.

Современный английский философ Д. Лавлок приводит следующие примеры гомеостазиса. Соленость воды Мирового Океана составляет 35 г/л, а при солености 60 г/л основная часть клеток существовать не может. Вынос солей реками в океан удваивал бы концентрацию солей каждые 80 млн лет, если бы не природные процессы, выводящие соли из океанской воды. При этих условиях относительная стабильность солености океана поддерживается уже несколько сотен миллионов лет.

Содержание кислорода в атмосфере около 21 %. При 16 % дыхание останавливается, а древесина не горит. При повышении содержания кислорода до 25 % даже влажные леса способны гореть. И в этих пределах кислородная атмосфера Земли существует два миллиарда лет!

За последние 3,5 миллиардов лет излучение Солнца увеличилось на 30 %. При этом, вследствие гомеостазиса экосферы, ее тепловой и водный балансы остались в пределах, способствовавших не только поддержанию жизни, но и ее развитию, то есть ее удивительной эволюции.

Еще одним примером гомеостазиса экосферы является поддержание глобального баланса углерода с точностью до $10^{-8}$ при геологических масштабах времени и с точностью до $10^{-4}$ при масштабах времени порядка нескольких тысяч лет.

Наряду со свойством гомеостазиса существуют и другие свойства геоэкологических систем: *стабильность* (отсутствие или быстрое затухание колебаний в системе), *устойчивость* (способность восстановления прежнего состояния системы после ее возмущения), *упругость* (согласно канадскому экологу Б. Холлингу, это способность системы переходить из одного устойчивого состояния в другое). В общем случае можно сказать, что геоэкологические системы подчиняются *принципу Ле-Шателье:* внешнее воздействие, выводящее систему из равновесия, вызывает в ней процессы, стремящиеся ослабить результаты этого воздействия. Этот принцип, хорошо известный химикам и

физикам, распространил в 1925 г. на геоэкологические системы американский биофизик и демограф А. Лотка.

Многие процессы в геоэкологических системах *нелинейны,* то есть малое приращение фактора может приводить к непропорционально большим (или непропорционально малым) изменениям результата. Во многих случаях в природно-общественных системах существуют *пороги,* когда происходит резкое, непропорциональное воздействию в данный момент времени изменение свойств системы, в то время как до и после порога сохраняется линейная зависимость. Например, в озерах Фенно-Скандии постепенный рост кислой реакции среды вызывает плавные изменения состояния озера в сторону большего подкисления. Затем, при определенной величине pH (обычно pHi5,5), происходит выделение свободного алюминия, чрезвычайно токсичного для рыбы и некоторых других представителей водной фауны, и состояние озерной системы преображается. При дальнейшем снижении величины pH снова устанавливается плавная реакция системы на внешние возмущения.

В геоэкологии часто встречается такой тип связи между воздействием и результатом, когда постепенные, относительно плавные воздействия на систему или ее часть приводят к столь же постепенному накоплению изменений состояния системы. Каждый шаг воздействий, хотя и неблагоприятен для системы, но незначителен; столь же плавно накапливаются неблагоприятные изменения. В таком случае невозможно в точности указать момент, когда состояние системы было еще приемлемым, а когда стало уже неприемлемым. Такие изменения американский социолог М. Гланц называет *ползучими.* Типичный пример такого явления – состояние почвы: деградация почв вследствие эрозии в большинстве случаев постепенна, каждый день (или год) приносит незначительные, и потому малозаметные изменения, но через несколько десятилетий после начала сельскохозяйственного освоения какой-либо территории природное плодородие почвы оказывается уже намного меньше первоначального или даже катастрофически низким. Примеров таких плавных воздействий, приводящих к неблагоприятным результатам, чрезвычайно много.

Разновидностью ползучих геоэкологических изменений является так называемая *«химическая бомба замедленного действия».* Благодаря способности почв и рыхлых отложений удерживать в стабильном или малоподвижном состоянии токсичные химические вещества, непосредственные результаты загрязнения, поступающего в почву, могут быть не видны. Однако относительно небольшие, но продолжительные изменения

химического состояния экосистемы могут вызвать процессы, приводящие в конечном итоге к внезапным вредным воздействиям. При этом время между поступлением химических веществ в геоэкосистему и их внезапным воздействием может быть весьма продолжительным, то есть бомба замедленного действия налицо.

Типичным примером «химической бомбы замедленного действия», а также и «ползучей геоэкологической деградации», является поведение иона алюминия ($Al^{+++}$) в почве. Алюминий в почвенном профиле неподвижен, если показатель кислотной реакции почвы (pH) превышает определенную величину. В случае уменьшения величины pH подвижность алюминия увеличивается. Антропогенные кислотные осадки, выпадающие из атмосферы, начинают влиять на кислотность почвы, содержащей ион алюминия, но показатель кислотной реакции остается неизменным, пока почвы еще содержат запас катионов, играющих роль буфера против увеличивающейся кислотности. Так продолжается до той поры, пока не израсходуется буферная способность почвы, после чего pH резко уменьшается и ион алюминия становится подвижным, вызывая гибель рыбы в озерах, ухудшение состояния лесов и другие неблагоприятные геоэкологические эффекты.

Очень часто изменение состояния сложной системы во времени под влиянием внешнего воздействия описываются (лучше сказать, аппроксимируются) так называемой логистической кривой, имеющей форму, близкую к S-образной, и отражающей переход от одного устойчивого состояния системы к другому (рис. 2). Самым типичным примером является кривая изменения численности населения мира: слабый и неустойчивый рост числа людей на Земле, характерный для истории человечества до начала этого века, сменился в середине XX века его резким ростом, замедляющимся в настоящее время, с ожидаемым прекращением роста и выходом на очень слабое, асимптотическое приращение к середине XXI века. Переход от одного состояния системы к другому, описываемый логистической кривой, – чрезвычайно типичный процесс для многих геоэкологических систем.

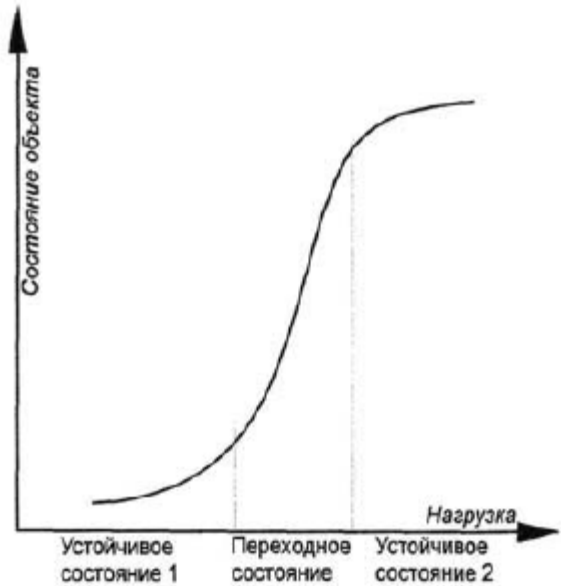


**Рис. 2.** Типичная переходная (логистическая) кривая

Поведение систем значительно различается в зависимости от продолжительности воздействия на них (по Х. Бёсселю, Германия):

| Продолжительность воздействия | Реакция системы на воздействие | Поведение системы |
|---|---|---|
| Очень большая | Изменение направленности процесса | Эволюция |
| Большая | Изменения структуры системы | Самоорганизация |
| Промежуточная | Изменения параметров системы | Адаптация |
| Краткая | Реакция обратной связи | Обратная связь |
| Очень краткая | Реакция прямой связи | Прямая связь |

В геоэкологии мы можем наблюдать все приведенные выше типы поведения природно-общественных систем.

Рассматривая геоэкологические проблемы как сложные системы, можем сказать, что для понимания и решения проблемы исследование взаимодействия между элементами (т. е. *исследование структуры системы)* важнее, чем исследование самих компонентов. Такой подход фактически традиционен для географии, и такой же подход характерен для геоэкологии.

*Геоэкологические проблемы по большей части междисциплинарны.* Проблема возникает часто как общественная, но корни ее лежат в вопросах естественного характера. Для ее решения необходимо предпринять определенные действия в социальной сфере, изменяя тем самым природные условия, к которым, в свою очередь, должно приспосабливаться общество.

Например, катастрофическое снижение уровня Аральского моря привело к существенным экономическим потерям (прекращение рыболовства, засоление почв из-за разноса солей с обнажившегося дна ветром и др.) и имело очень большой общественный резонанс. Падение уровня произошло в результате изменения составляющих его водного баланса: вследствие развития орошения резко уменьшился приток в море воды Амударьи и Сырдарьи. Для восстановления более высокого, чем сейчас, уровня Арала необходимо такое коренное изменение социальных условий в бассейне, которое бы в конечном итоге способствовало снижению водопотребления (снижение доли сельского населения, изменение структуры посевов, пересмотр стратегии развития сельского хозяйства и пр.). Таким образом, проблема Арала, внешне видимая как естественная, в основном по происхождению гидрометеорологическая, а фактически социальная. Она уходит своими корнями в советский период развития Центральной Азии и связана с очень сложной жизнью современного общества новых государств. Разделить такую проблему на отдельные, привычные науки практически невозможно, и решение ее может быть только на основе системного подхода.

Все общемировые геоэкологические проблемы можно разделить на две большие категории: *проблемы глобальные и проблемы универсальные.* Глобальные проблемы охватывают всю экосферу в целом, но могут проявляться по-разному в различных районах мира. Универсальные проблемы многократно повторяются, в определенных модификациях, складываясь в общемировую проблему. Разрушение озонового слоя Земли – характерный пример глобальной проблемы, в то время как деградация почв – типичный пример универсальной проблемы. Такое деление удобно, потому что стратегии решения глобальных и универсальных геоэкологических проблем различаются. В частности, в первом случае действенным методом решения проблемы может быть международное соглашение, выполняемое затем на национальном уровне, а во втором случае зачастую достаточно концентрировать действия по решению проблемы на локальном уровне, имея в виду решение общенациональной или всемирной задачи.

Очень большая трудность в решении геоэкологических проблем заключается в том, что природные ресурсы и процессы чрезвычайно затруднительно, а то и невозможно выразить в денежной форме, а без этого нельзя оценить истинную стоимость затрат и потерь. Возможно, например, оценить стоимость древесины в лесу, но эта оценка будет намного ниже истинной стоимости леса, которая должна бы включать величину и интенсивность его биологической продукции, его видовое и ландшафтное биологическое разнообразие, его климатические и гидрологические свойства, красоту и привлекательность лесного ландшафта, роль данного конкретного леса в традиционной хозяйственной деятельности и многие другие показатели. Без решения таких системных задач невозможна полная оценка результативности хозяйственных мероприятий, затрагивающих окружающую среду.

На национальном уровне, чтобы знать истинное состояние страны, необходимо, наряду с традиционно выполняемыми ежегодными расчетами макроэкономических показателей, таких как валовый национальный продукт (ВНП), учитывать также геоэкологическое состояние страны, его приращения и потери. Оценка «истинного состояния прогресса» США, выполненная одной из исследовательских групп, включала (весьма приближенно) такие факторы, как стоимость загрязнения окружающей среды, потерю пахотных земель, расходование невозобновимых ресурсов, долгосрочный ущерб окружающей среде, потери первичных лесов и пр. Расчеты показали, что в 1950–1973 гг. происходил рост «истинного» экономического состояния США, а с тех пор и до настоящего времени происходит его неуклонное снижение. Подобные попытки расчетов делались и для других стран (Нидерланды, Франция, Австралия, Канада) и были получены похожие результаты (см. также раздел IV.6).

Другая трудность в решении геоэкологических проблем в том, что многие ценные свойства и процессы в экосфере принадлежат всем, а значит, никому. К этой категории относятся, например, атмосфера, глобальный круговорот воды и его отдельные звенья, леса и почвы, если они коллективного или общенационального пользования, и пр.

Гаррет Хардин (США) назвал эту ситуацию «трагедией всеобщего достояния». Он приводит следующий пример. На общественном лугу пасется N групп коров, каждое из которых состоит из n голов, принадлежащих N хозяевам. Пока все коровы на лугу потребляют траву в пределах ее годового прироста, ситуация устойчива. Затем один из хозяев решает увеличить свое стадо, состоящее из n коров, на одну корову. Для него это

означает заметное увеличение богатства (на 1/n-ую часть), а для луга в целом приращение антропогенного давления составит всего лишь 1/(n + 1). Видя такую выгодную для отдельного лица ситуацию, другой хозяин принимает подобное решение, затем третий, четвертый, и так все N хозяев. Суммарное приращение антропогенного давления становится уже N/(n + 1).

Рост численности скота продолжается, даже если хозяева понимают, что их действия ведут к избыточному количеству коров, превышающему потенциальную емкость луга, то есть к перевыпасу и, в конечном итоге, к снижению продуктивности луга. Персональная алчность оказывается сильнее, чем коллективный интерес. Договориться о совместных действиях до наступления критического состояния обычно не удается, и продуктивность луга начинает снижаться, зачастую катастрофически. Иногда, но не всегда, удается, наконец, договориться о совместных действиях, но уже не по оптимальной эксплуатации луга, а по выходу из критической ситуации.

Приведенный выше пример чрезвычайно типичен для многих геоэкологических ситуаций. Если не удается найти стратегию совместных действий нескольких хозяев на одном лугу, то насколько сложнее выработать согласованную стратегию решения совместных задач для Земли в целом!

Итак, в геоэкологии возникает много задач системного характера, отличающихся следующими чертами.

• Взаимодействие естественных и общественных процессов и закономерностей.

• Междисциплинарность задач, ведущая к интеграции различных наук.

• Обычно существует не один пользователь ресурса или системы, а несколько, причем зачастую с различными интересами.

• Многие критерии носят качественный характер и тем более не могут исчисляться в денежном выражении.

• Одновременно встречаются явления, хорошо описываемые количественно и плохо описываемые количественно.

• Состояние системы или проблемы не может быть описано одним показателем, и необходимо разработать систему геоэкологических индикаторов и индексов.

## I.4. Краткая история развития геоэкологических взглядов

Уже в древности философы интересовались фактически отдельными вопросами геоэкологии. Например, Платон (IV в. до

н. э.), размышляя о взаимоотношениях природы и общества, в частности, об ограничениях, накладываемых природой, пришел к выводу, что в идеале Греция должна иметь не более чем 5040 хозяйств. Конфуций и его окружение (V в. до н. э.) вели учет соотношения численности населения Китая и имеющейся земли, то есть также подходили к разрабатываемому в настоящее время понятию несущей способности (потенциальной емкости).

Меркантилисты (XVII–XVIII вв.) говорили, что «не следует опасаться слишком большого числа граждан, потому что богатство и сила заключены в людях».

Промышленная революция в Европе и развитие капитализма привели к объективной необходимости развития экономики как науки, в которой существенным разделом является использование природных ресурсов. Значительный вклад внесли английские экономисты, включая А. Смита и Д. Рикардо. Адам Смит в своем труде «О богатстве народов» (1776 г.) говорил, что людей связывает в общество разделение труда, являющееся важнейшим фактором роста производительности труда как первейшего источника богатства. Другим фактором роста производительности труда является накопление капитала, то есть превышение производства над потреблением. Природным ресурсам как источнику богатства общества уделялось немного внимания. Однако, основное, важное для понимания развития геоэкологии положение заключалось в признании того, что Земля богата ресурсами, на которых основывается производство, и что всегда возможно, в случае недостатка какого-либо ресурса, заменить его на другой. Девид Рикардо (1817 г.) полагал, что человеческая изобретательность и научный прогресс могут надолго отсрочить то время, когда потребности населения превзойдут имеющиеся природные ресурсы.

Так началась линия миропонимания, основанная фактически на *концепции неограниченного богатства экосферы.*

Между тем ситуация в Англии конца XVIII в. была критической: численность населения страны, в особенности городского населения, быстро росла, спрос на продовольствие возрастал быстрее его производства, реальная зарплата падала, импорт продовольствия вынужденно увеличивался. В 1798 г. 32-летний провинциальный священник Томас Р. Мальтус анонимно опубликовал книгу «Эссе о принципах народонаселения», в которой он, основываясь на текущем опыте Англии, говорил, что население растет быстрее, чем производство продуктов питания, и дальнейший экспоненциальный рост его численности и, следовательно, его потребностей, неизбежно придут к противоречию с ограниченными природными ресурсами. Так

возникла другая линия миропонимания, основанная на *концепции ограниченности ресурсов экосферы.*

Продолжая эту линию, Д. Милл писал (1848 г.) о том, что природу надо защищать от неограниченного роста экономики, если мы хотим сохранить благосостояние людей и предотвратить их обнищание.

Развитие и взаимодействие этих двух крайних концепций и явилось основой того направления, которое формируется сейчас в виде геоэкологии.

Американский географ Джордж Перкинс Марш в XIX веке сыграл большую роль, в особенности в англоязычном мире, в исследовании деятельности человека и его воздействии на природу. В 1864 г. он опубликовал монографию «Человек и природа» (Man and Nature). Она была также издана на русском языке в Петербурге в виде тома в 586 страниц под названием «Человек и природа, или о влиянии человека на изменение физико-географических условий природы». Последнее, посмертное издание вышло в США в 1885 г. под названием «Земля, изменяемая действиями человека». Д. П. Марш был основателем существующей до сего времени школы географов, фактически ориентированной на вопросы геоэкологии, в университете Кларка в штате Массачусетс (США).

Похожую роль во франкоязычном мире сыграл французский географ Элизе Реклю, выпустивший в 1876 г. многотомную работу «Земля и люди». Она была также переведена на русский язык и сыграла заметную роль в российском образовании последней четверти XIX в.

Ключевой фигурой в науках о Земле, Ломоносовым XX в., стал Владимир Иванович Вернадский (1863–1945). Его труды не потеряли своего значения и до сих пор. В. И. Вернадский внес фундаментальный вклад в такие вопросы, как учение о глобальных биогеохимических циклах, о роли живого вещества в функционировании Земли как системы, о деятельности человека как «геологической» силы (то есть уже сравнимой с другими основными природными факторами). Он увидел объективные тенденции в изменениях приоритетов в науке и поэтому писал, что «биосфера является основной областью научного знания». Вернадским развито и благодаря ему стало широко известно предложенное Э. Леруа понятие «ноосфера», или сфера разума. Ноосфера есть состояние взаимоотношений между человеком и природой, близкое к идеальному. Это понятие спорное, оно признается не всеми, но его введение катализировало прогресс развития геоэкологии.

В. И. Вернадский много бывал за границей и был хорошо

информирован о современных ему достижениях науки. В особенности важным для российских наук о Земле было его трехлетнее пребывание в Европе в первой половине 1920-х гг. Он читал лекции в Сорбонне, поддерживал связи со многими представителями естественных и философских наук. В 1929 г. на французском языке вышла его книга «Биосфера», на которую ссылаются до сих пор западные авторы. В последующие десятилетия, когда контактов между советской и западной наукой почти не было, труды В. И. Вернадского сыграли важнейшую роль связующего звена между этими двумя ветвями мировой науки. На этом фундаменте в Советском Союзе в течение трех-четырех десятилетий после Второй мировой войны развивались междисциплинарные исследования географической оболочки и ее взаимоотношений с деятельностью человека.

В те годы в Советском Союзе сложилось и успешно развивалось самобытное направление, исследовавшее теоретические вопросы географической оболочки (Л. С. Берг, С. В. Калесник, К. К. Марков, А. А. Григорьев, М. И. Будыко и др.). Значительное внимание уделялось также вопросам взаимоотношений человека и природы (И. П. Герасимов, В. А. Ковда и др.). Ведущую роль в этом направлении играли географы. Советские ученые были на мировом уровне в определенной степени ведущими в области исследования географической оболочки в целом и отдельных геосфер Земли.

В то же время вопросы, находящиеся на стыке естественных и общественных наук, не могли не попасть в СССР в зону жесткого идеологического контроля. Например, о Мальтусе можно было говорить только как о крайнем реакционере, «мракобесе». Что касается исследования взаимоотношений человека и окружающей его среды, то вследствие идеологического прессинга в СССР очевидный приоритет в этой области остался за наукой, развивавшейся на Западе. В особенности этот разрыв начал усиливаться в 1970—1980-е гг., когда к тому же резко обозначилось отставание Востока от Запада в использовании компьютеров для сбора и обработки данных и математического моделирования.

Бурное экономическое развитие мира после Второй мировой войны привело к столь же быстрому ухудшению состояния окружающей среды, в особенности в индустриально развитых странах. Объективно возникла необходимость как решения локальных экологических вопросов, так и понимания глобальных проблем геоэкологии. В 1970 г. итальянский промышленник Аурелио Печчеи собрал группу выдающихся ученых, философов, общественных деятелей для обсуждения глобальных проблем

современности, которая была названа «Римский клуб» (The Club of Rome).

Первое исследование для Римского клуба было выполнено молодыми американскими учеными Донеллой и Деннисом Медоуз в 1972 г. под названием «Пределы роста». Оно основывалось на принципиально новом в то время методе, называемом глобальным моделированием. Медоузы с коллегами, под руководством Дж. Форестера, построили математическую модель мира, отражающую основные факторы и процессы функционирования общества, и проанализировали с помощью модели ряд сценариев глобального развития. Основной вывод их работы заключался в том, что бесконечный рост таких основных показателей состояния общества, как численность населения мира, объем промышленного и сельскохозяйственного производства, использования природных ресурсов и пр.), невозможен, так как он вступает в противоречие с ограниченными возможностями Земли в поглощении загрязнений и обеспечении человечества природными ресурсами. Иными словами, количественный рост человеческого общества имеет пределы, и человечество должно изменить стратегию своего существования.

Книга «Пределы роста» была переведена на десятки языков. Она оказала большое влияние на мировоззрение многих людей и, в конечном итоге, на формирование экологической политики ряда государств. В СССР она была выпущена в 1970-х гг. малым тиражом под грифом «Для служебного пользования» и потому не была тогда доступна массовому читателю.

В 1992 г. авторы «Пределов роста», воспользовавшись той же глобальной моделью, но добавив данные за последние 20 лет, проанализировали те же сценарии, что и в 1972 г. Обнаружилось, что основные выводы книги 1972 г. не изменились, но работа 1992 г. продемонстрировала, что экологическая ситуация на Земле стала еще ближе к критической, если не катастрофической. Книга 1992 г. была весьма точно названа «За пределами роста». Обе книги переведены на русский язык и изданы в России в издательстве Московского государственного университета в начале 1990-х гг. Основной недостаток обеих книг – обобщенный (агрегированный) общемировой подход, не учитывающий региональные различия в явлениях и процессах. Во втором докладе Римскому клубу (1975 г.) М. Месарович и Э. Пестель отразили в своей математической модели мира деление его на отдельные регионы. Их основной вывод заключается в том, что если оставить мировые экономические отношения такими, какие они сейчас есть, то существующее различие между развитыми и развивающимися странами будет усиливаться. Это приведет к

ограничению рынков сбыта и, в результате обратной связи, к ухудшению экономического состояния также и развитых стран. Поэтому помощь развивающимся странам – в интересах всех государств мира. Эта стратегия не только экономическая, но и в неменьшей степени геоэкологическая и геополитическая, потому что она влияет на использование природных ресурсов и загрязнение окружающей среды.

Глобальное моделирование сыграло большую роль в развитии геоэкологических взглядов, так как оно показало взаимозависимость многих природных и социально-экономических процессов, а полученные с его помощью выводы фактически явились основой для разработки экологической политики, в особенности на глобальном уровне. Оно продемонстрировало, что дальнейшее экономическое развитие в том виде, как оно существует сейчас, находится в глубоком противоречии с состоянием экосферы, и потому необходимо изменение стратегии человечества. Так вместе с приходом глобального мышления геоэкология из чисто научного направления стала также и областью общественно-политической деятельности.

В 1984 г. Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций приняла решение о создании международной комиссии по окружающей среде и развитию, которая должна была подготовить соответствующий доклад для ООН. Комиссия ученых и общественных деятелей из разных стран под председательством г-жи Г. Х. Брунтланд (Норвегия) подготовила доклад «Наше общее будущее» (1987 г.), переведенный на многие языки мира, в том числе на русский. Основной вывод доклада: выживание человечества возможно, если оно немедленно встанет на путь осуществления стратегии устойчивого развития.

С тех пор словосочетание «устойчивое развитие» стало, вероятно, самым часто встречающимся выражением в геоэкологии. Мы будем неоднократно возвращаться к вопросам устойчивого развития в последующих главах.

Большую роль в понимании проблем геоэкологии и разработке стратегии их решения сыграли Конференции ООН, посвященные ключевым вопросам современности. В 1972 г. в Стокгольме состоялась Конференция ООН по окружающей человека среде. СССР в ней не участвовал по сиюминутным политическим причинам, не имевшим ничего общего с экологией. Конференция наметила стратегию решения экологических проблем на глобальном и национальном уровнях. Она сыграла огромную роль в признании важности и приоритетности вопросов окружающей среды как для развитых, так и для развивающихся

стран. Ее рекомендациям в области окружающей среды фактически следовали страны мира в последующие двадцать лет. В результате Стокгольмской Конференции была создана Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП) (United Nations Environment Programme).

Ровно через 20 лет, в июне 1992 г., в Рио-де-Жанейро состоялась Конференция ООН по окружающей среде и развитию. По числу глав государств она была самой представительной из всех Конференций ООН. В Рио была принята всеобъемлющая программа действий, так называемая «Повестка дня XXI века» (Agenda 21), а также были подписаны две всемирные конвенции по важнейшим вопросам геоэкологии: Конвенция по изменению климата и Конвенция по биологическому разнообразию. Современные международные отношения в области окружающей среды и экологическая политика многих стран во многом определяются решениями Конференции в Рио-де-Жанейро.

Вместе с тем основные сверхдолгосрочные направления стратегии развития на Конференции в Рио не обсуждались, вследствие, вероятно, их дальней перспективы, находящейся за пределами интересов политических деятелей, действия которых зачастую ограничены обычной цикличностью выборов, то есть 4–5 годами.

Вслед за Конференцией в Рио, были проведены еще несколько Конференций ООН, посвященных глобальным проблемам: по народонаселению и развитию в 1994 г. в Каире, по социально-экономическим проблемам развития в 1995 г. в Копенгагене, по проблемам женщин в 1995 г. в Пекине, по проблемам жилища в 1996 г. в Стамбуле и в том же году по проблемам продовольствия в Риме. Эти конференции привлекли внимание общественности к глобальным проблемам современности, в том числе к вопросам геоэкологии, и повысили уровень понимания междисциплинарности основных глобальных проблем.

В 1990-е гг. геоэкология (хотя зачастую так не называемая) стала обширной областью исследований. Количество публикаций по этим вопросам за год увеличилось по крайней мере на порядок (то есть в 10 раз). Появилось много группировок и школ различных направлений. Однако сохранились две принципиально различные линии понимания ситуации: одна, говорящая о том, что ресурсы экосферы ограничены и, следовательно, пределы валового роста существуют, и другая, утверждающая возможность неограниченного экономического роста благодаря богатству ресурсов Земли и техническому прогрессу. Вместе с тем во многих странах мира усилилась озабоченность глобальным геоэкологическим кризисом, наблюдаемым во все большей

степени.

Неомальтузианское направление, проявившееся в первой книге Медоузов и публикациях других авторов, в особенности усилилось в результате пионерных работ по экологической экономике (правильнее сказать, по геоэкологической экономике), развиваемых в последние годы в США. Выдающейся фигурой является Херман Дейли, разрабатывающий теоретические вопросы взаимоотношения населения и потребления ресурсов, с одной стороны, и ограниченности экологических ресурсов, с другой стороны. Он и его коллеги работают над обоснованием развития общества без сопровождающего роста объемов мировой экономики.

Помимо Дейли, вклад в развитие идей перестройки стратегии человечества и разработку ее конкретных путей вносят такие авторы, как Р. Гудланд, П. Эрлих, Р. Констанца, И. Серагельдин, Эль-Серафи и другие ученые, живущие в США, а также Д. Пирс, работающий в Лондоне. Журнал «Экологическая экономика» (Ecological Economics) является главной трибуной их идей. В России к современным последователям того же направления можно отнести В. Г. Горшкова, К. С. Лосева, Н. Н. Моисеева, К. Я. Кондратьева, В. И. Данилова-Даниляна.

Современные представители другого направления, утверждающего неограниченность ресурсов, следуют традициям классической экономики («Всемирная стратегия охраны природы») и признают возможность совместимости роста с устойчивым состоянием экосферы.

Очень важную роль в анализе стратегий использования ресурсов и сохранения устойчивости экосферы, а также в сборе и анализе всемирных данных по кругу вопросов, касающихся взаимоотношений геосфер и общества, играет созданный в 1984 г. в Вашингтоне «Институт мировых ресурсов» (World Resources Institute). Институт выпускает двухлетние справочники по состоянию ресурсов и пионерные работы по вопросам стратегии их использования.

Начиная с 1997 г., ЮНЕП начал выпускать 1 раз в 2 года отчет под названием «Глобальная экологическая перспектива» («Global Environment Outlook», в котором обсуждаются основные глобальные и региональные проблемы и соответствующие им стратегические направления деятельности. Четвертый том (GEO-4) выпущен в 2007 г.

На рубеже 1980-1990-х гг., благодаря техническому прогрессу, три основных технологических фактора: развитие компьютерной техники, обильная информация о Земле, поступающая из космоса, и средства связи, способные быстро

передавать значительные массивы данных, – предопределили возможность разработки и осуществления многолетних, международных, глобальных научных программ, ориентированных на более глубокое понимание экосферы и увеличивающейся роли общества в этой системе в целях разработки рекомендаций по стратегии человечества на ближайшие десятилетия.

В настоящее время функционируют три крупные, многолетние, взаимосвязанные научные программы, исследующие различные аспекты глобальных изменений. Это Международная геосферно-биосферная программа, или МГБП (International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP), имеющая дело в основном с глобальными геохимическими и биологическими проблемами. Это Всемирная программа исследования климата (World Climate Research Programme, WCRP), ориентированная на преимущественно геофизические аспекты глобальных изменений. И это международная программа гуманитарных аспектов (или человеческого измерения) глобальных изменений (International Human Dimension for Global Change Programme, IHDP).

Общая цель программ – понять причины и существо глобальных изменений и дать прогноз состояния экосферы как основы для разработки стратегий человечества. Программы имеют много зон соприкосновения и перекрытия. Они были задуманы как независимые программы, отвечающие запросам в соответствующих областях знания, но степень их координации и взаимопроникновения растет.

В мире постепенно формируется международная система наблюдения за состоянием экосферы и управлением ею. Она состоит из следующих основных блоков:

• системы глобального мониторинга состояния окружающей среды;

• системы международных программ исследования глобальных изменений;

• ряда международных комиссий и комитетов по оценке различных геоэкологических проблем и выработке соответствующих стратегических рекомендаций,

• набора международных геоэкологических конвенций.

# II. Природные факторы экосферы

## II.1. Геосферы и экосфера

Экосфера – это очень сложная природная система. При анализе сложных систем, чтобы упростить картину, выявив в то же время ее наиболее существенные особенности, принимаются различные концептуальные модели, подчеркивающие те или иные свойства оригинала. Можно, например, представить экосферу как набор взаимопроникающих сфер, различающихся своими физическими и химическими свойствами. Можно рассматривать Землю как единое, цельное тело, то есть как планету. Можно принять модель экосферы как экологической системы, состоящей из многих элементов, объединенной прямыми и обратными связями между элементами и характеризующейся специфическими чертами энергетического режима и массообмена. Можно рассматривать экосферу как закономерный набор природно-территориальных комплексов (ландшафтов). Каждая модель позволяет по-своему взглянуть на экосферу и каждая имеет свои преимущества и недостатки.

Планета Земля имеет ярусное строение, и этому соответствует распределение плотности вещества, слагающего ярусы, или геосферы. В целом чем ближе к центру Земли расположена геосфера, тем выше ее средняя плотность. Сложнее всего построена экосфера – область взаимного проникновения и взаимодействия атмосферы, гидросферы, биосферы и верхней части литосферы. Иногда выделяют также криосферу, или сферу холода, включающую ледники, вечную мерзлоту, снежный покров, ледяной покров водоемов. На суше выделяется также педосфера, или сфера почв. Непосредственная поверхность Земли отличается наиболее сложным строением и режимом, в особенности на суше. Когда говорят о геоэкологических явлениях и проблемах, обычно имеют в виду не всю планету, а экосферу. В этом смысле будем упоминать Землю и мы.

Не претендуя на высокую точность, можно сказать, что экосфера не имеет четких границ и простирается на первые десятки километров в атмосферу и на первые сотни метров в литосферу, заключая в себя помимо этих двух сфер также и всю биосферу, педосферу и практически всю гидросферу.

Экосфера – целостная, внутренне связанная система, обладающая определенной устойчивостью по отношению как к внутренним процессам, так и к внешним воздействиям. Основные

черты пространственной структуры экосферы следующие:

• экосфера по форме близка к шару;

• экосфера трехмерна. На этом основана общепринятая система географических координат: широта, отсчитываемая к северу и югу от экватора, долгота, отсчитываемая от нулевого меридиана, обычно проводимого через Гринвич вблизи Лондона, и высота над средним уровнем океана;

• поверхность суши и океана («дневная поверхность») – это зона наибольшего взаимодействия геосфер;

• верхняя и нижняя границы экосферы размыты;

• поверхности контактов между различными компонентами экосферы наиболее активны. К ним относятся такие контактные зоны, как атмосфера-суша, атмосфера-океан, суша-океан, поверхности раздела между воздушными и водными массами с различными свойствами (фронты), границы между различными экологическими системами (экотоны).

## II.2. Земля как планета. геоэкологические следствия

Положение Земли в Солнечной системе, ее размеры, форма, особенности движений предопределяют несколько основных свойств планеты, в том числе особенности, важные с точки зрения геоэкологии:

а) Земля – планета относительно небольшая. Площадь ее поверхности составляет 510 млн км$^2$, из них суша – 149 млн км$^2$, а свободная от ледников суша – 133 млн км$^2$. Это все, чем располагает человечество не только сейчас, но и в будущем, для своего дальнейшего роста и развития. Ограниченность пространства и ресурсов, заключенных в этом пространстве, при возрастающей численности населения мира и росте его потребностей приводят к неизбежности возникновения, рано или поздно, глобального геоэкологического кризиса.

б) Главный источник энергии, необходимой для функционирования экосферы, – это Солнце. Позиция Земли по отношению к Солнцу оптимальна по сравнению с другими планетами: наша планета достаточно близка к Солнцу, чтобы получать от него необходимое количество энергии, определяющей почти все основные процессы в экосфере. В то же время Земля не настолько приближена к Солнцу, чтобы получать избыточное количество энергии.

в) Ось вращения Земли наклонена под углом 66˚33′ к плоскости движения Земли вокруг Солнца (плоскости эклиптики). Это обстоятельство обусловливает изменяющееся в течение года неравномерное распределение солнечной радиации по земной

поверхности и, таким образом, смену времен года. Оно обеспечивает также различную продолжительность светового дня и ее внутригодовую изменчивость в зависимости от широты.

г) Параметры движений Земли изменяются с определенной периодичностью. Среди многих периодов выделяются, например, вариации средней продолжительностью 92, 40 и 21–23 тысяч лет, связанные с закономерными изменениями параметров движений Земли (эксцентриситета орбиты, наклона оси вращения планеты к плоскости орбиты, прецессии равноденствия). Это приводит к периодичности изменений геоэкологической обстановки, таких как потепление или похолодание климата, повышение или понижение уровня океана, развитие или сокращение оледенения и пр. Периодичность различной продолжительности – отличительная особенность многих природных явлений.

д) Форма Земли не соответствует в точности какой-либо геометрической фигуре, но для текущих задач геоэкологии она может быть аппроксимирована как шар. Отсюда вытекают два важных следствия.

Во-первых, шарообразность Земли обеспечивает закономерное изменение от экватора к полюсам интенсивности солнечного излучения и накапливаемых за год сумм солнечной радиации. Это обстоятельство – основная причина формирования природных зон и ландшафтов Земли, то есть того ландшафтного разнообразия, которое столь отличает нашу планету от других.

Во-вторых, из-за шарообразности Земли площадь тропической зоны существенно больше умеренной, а тем более полярной зоны. Если разделить Землю по тридцатиградусным полосам по широте и затем сложить образовавшиеся полосы симметрично относительно экватора, то образуются три основные зоны: тропическая, умеренная и полярная. Площади этих зон заметно различаются:

| Интервал, градусы широты | Зона | Площадь зоны, %% |
|---|---|---|
| 30° с. ш. – 30° ю. ш. | Тропическая | 50 |
| 30° – 60° с. ш. и ю. ш. | Умеренная | 37 |
| 60° – 90° с. ш. и ю.ш. | Полярная | 13 |

Столь большие различия в площади зон указывают, при прочих равных условиях, на относительно более значительную для глобальной экологии роль процессов в тропической зоне и наименьшую – в полярной зоне.

## II.3. Энергетические и вещественные особенности

## экосферы

Наиболее характерными особенностями любой сложной природной системы являются ее энергетическое и вещественное состояние и режим. В этой связи важнейшими факторами, определяющими режим и эволюцию экосферы, являются ее тепловой баланс и глобальные циклы вещества.

### II.3.1. Тепловой баланс экосферы

Солнце – главный источник энергии, которая необходима для функционирования Земли как системы. Общее количество солнечной энергии, достигающей верхней атмосферы, составляет $5{,}49 \cdot 10^{24}$ джоулей за год. При этом поток солнечной радиации весьма мало изменяется во времени, обеспечивая устойчивую энергетику таких основных процессов экосферы, как общая циркуляция атмосферы и океана, выветривание и денудация верхних горизонтов литосферы, глобальные биогеохимические циклы вещества, образование первичной биологической продукции и пр. В частности, затраты солнечной энергии на испарение воды с поверхности океанов и суши определяют один из основных механизмов системы – глобальный гидрологический цикл, или круговорот воды.

Заметим, что другой источник энергии экосферы – поток из недр Земли к ее поверхности – в 20–30 тысяч раз меньше, чем поступление энергии от Солнца, хотя этот поток все же весьма значителен.

Для сравнения укажем, что человек использует сейчас примерно такое же количество энергии, как и поток из недр Земли.

Это иллюстрация того, что роль человека уже соизмерима с крупными природными процессами.

Солнечную энергию, приходящую к верхней границе атмосферы, постигают затем сложные преобразования[1]. Она частично:

а) рассеивается в атмосфере,

б) отражается от нее в мировое пространство,

в) достигает поверхности Земли.

В среднем для Земли почти половина солнечной радиации, приходящей на верхнюю границу атмосферы, достигает поверхности океанов и суши. В свою очередь, эта доля солнечной энергии:

а) отражается от поверхности Земли в атмосферу и за ее пределы,

б) нагревает поверхность почвы и океанов,
в) расходуется на испарение воды.

С точки зрения энергетического баланса экосфера – открытая система, потому что происходит свободный обмен энергией через границы системы. Несмотря на это, приходные и расходные части энергетического бюджета экосферы в высочайшей степени сбалансированы. Экосфера получает и теряет одинаковое количество энергии, что удерживает ее в относительно стабильном состоянии. Долговременные изменения теплового баланса Земли, как естественные, так и антропогенные, весьма малы по сравнению с основными компонентами теплового баланса, но именно эти изменения определяют вековые глобальные изменения климата.

В различных зонах поверхности Земли приток радиации не соответствует ее отдаче, так что радиационный баланс оказывается или положительным, или отрицательным, в полном соответствии с основными географическими закономерностями. Тепловое равновесие земной поверхности поддерживается межширотным обменом энергией посредством глобальной циркуляции атмосферы, а также и океана. Антропогенные изменения теплового баланса в отдельных точках или территориях (акваториях) могут вызывать изменения в циркуляции атмосферы с соответствующими воздействиями на климат.

## II.3.2. Глобальные циклы вещества

Что касается обмена веществом, то он также происходит через границы экосферы, но интенсивность обмена ничтожно мала по сравнению с потоками вещества внутри системы. Из космоса, сквозь атмосферу на поверхность Земли выпадает примерно 40 млн тонн метеоритного вещества в год. Процессы обмена веществом внутри экосферы отличаются значительно большими размерами. Например, реки мира выносят в океаны порядка 20 млрд тонн наносов в год, это в две тысячи раз больше, чем привносится метеоритами. Поэтому можно сказать, что, с точки зрения геоэкологии, Земля и ее экосфера – это закрытые системы.

В закрытой системе неизбежно возникают циркуляционные движения вещества, что и происходит на Земле. Это круговороты вещества, такие как большой («геологический») круговорот, объединяющий разрушение и снос горных пород с аккумуляцией и трансформацией продуктов разрушения, круговорот воды,

биогеохимические циклы химических элементов, таких, например, как углерод, азот, фосфор, сера и др., общая циркуляция атмосферы, циркуляция вод океана. В сущности эти круговороты – один большой круговорот, разделяемый нами на отдельные составляющие для удобства нашего понимания глобальных процессов.

Любой глобальный круговорот вещества состоит из запасов (резервуаров) и потоков. Как правило, суммарная величина запасов значительно больше, чем потоков, что обеспечивает устойчивость круговорота. Одна из важных количественных характеристик – среднее время оборота вещества, вычисляемое как отношение запаса к потоку. Оно может определяться также для любой ветви круговорота (например, для ветви, описывающей круговорот углерода в наземной биоте).

Все естественные глобальные круговороты вещества отличаются чрезвычайно высокой степенью замкнутости. Современная продукция органического вещества в биосфере составляет 100 млрд т/год в единицах массы органического углерода. Эта величина соответствует 1000 млрд т живой массы. Время существования жизни на Земле – около 3,5 млрд лет. Если принять, что средняя продуктивность живой массы за это время равна 500 млрд т в год, то всего за время существования жизни образовалось приблизительно $2x10^{12}$ млрд т живого вещества. (Это всего лишь втрое меньше массы всей Земли!) Масса биосферы около $1,4x10^{9}$ млрд т. Таким образом, продукция биоты за время существования Земли превосходит массу биосферы на три порядка (в 1000 раз). Это значит, что все атомы углерода на Земле в среднем приблизительно 1000 раз становились частью синтезируемого органического вещества, а затем столько же раз это вещество подвергалось деструкции. Очевидно, что глобальные потоки синтеза и деструкции органического вещества должны совпадать с точностью не менее трех значащих цифр (0,001). Более детальный анализ показывает, что в геологическом масштабе времени баланс потоков синтеза и деструкции органического вещества Земли выдерживается с точностью до восьми знаков за запятой!

Поэтому даже малые (казалось бы, пренебрежимо малые), но устойчивые антропогенные воздействия могут приводить к существенным изменениям естественных круговоротов. Отсюда вытекает важнейшая роль деятельности человека в возникновении и усилении несбалансированности круговоротов с серьезными последствиями глобальных размеров. Например, мы увидим ниже, что малое, по сравнению с природными потоками, антропогенное приращение парникового эффекта в атмосфере

может привести к серьезнейшим нарушениям устойчивых климатических процессов, влияющих, в свою очередь, на многие аспекты жизни и деятельности общества.

Особенности глобального круговорота воды, или гидрологического цикла, и большого («геологического») цикла, или круговорота вещества, обсуждаются ниже, в разделах, посвященных гидросфере и литосфере. Рассмотрим в упрощенном и огрубленном виде основные черты глобальных биогеохимических циклов химических элементов, важнейших с точки зрения состояния экосферы, – углерода, азота, фосфора и серы.

*Глобальный цикл углерода.*

Вероятно, углерод является наиболее важным химическим элементом экосферы, потому что:

а) почти все формы жизни состоят из соединений углерода;

б) реакции окисления и восстановления соединений углерода в экосфере обусловливают глобальное распространение и баланс не только углерода, но и кислорода, а также и многих других химических элементов;

в) способность атома углерода создавать цепи и кольца обеспечивает разнообразие органических соединений;

г) углеродсодержащие газы – углекислый газ ($CO_2$) и метан ($CH_4$) – играют определяющую роль в антропогенном парниковом эффекте.

Основные экосферные резервуары углерода находятся в гидросфере, биосфере и атмосфере. Между ними происходит активный обмен с интенсивностью порядка десятков миллиардов тонн углерода в год. В этом обмене океан является главным поглотителем углерода, поступающего как с суши со стоком рек в результате деструкции органического вещества, так и из атмосферы, куда углерод поступает вследствие дыхания всего комплекса живых существ (биоты). Важнейшие процессы в биосфере – формирование органического вещества из неорганического при участии солнечной энергии (фотосинтез), расходование органического вещества в процессах аэробной и анаэробной жизнедеятельности биоты и деструкция органического вещества.

Основной запас углерода, принимающего активное участие в биогеохимическом цикле, находится в Мировом океане, где он содержится в различных формах: в виде частиц неорганических углеродсодержащих веществ, частиц органического нерастворимого углерода, растворенного органического углерода и живых форм. В конечном итоге, подавляющая часть углерода в океане отлагается на дне, перекрывается все более молодыми

отложениями и таким образом выходит за пределы экосферы, сохраняясь при этом в большом цикле вещества литосферы.

Основной антропогенный поток в глобальном цикле углерода образуется в результате сжигания горючих ископаемых в процессе производства энергии. Другой поток – различные виды деструкции органического вещества биоты и почв, которые возникают при антропогенном преобразовании экосистем суши. Эти антропогенные потоки относительно невелики, но они устойчиво возрастают. В чрезвычайно сбалансированном цикле углерода антропогенное воздействие приводит уже сейчас к заметному усилению парникового эффекта с соответствующими серьезными последствиями для экосферы. Эта проблема более детально обсуждается ниже, в главе, посвященной геоэкологическим проблемам атмосферы.

*Глобальный цикл азота.*

Азот – ключевой ингредиент жизни, поскольку этот элемент – обязательный компонент всех белковых соединений.

Большие запасы соединений азота сосредоточены в литосфере. Остальные запасы представлены в виде химически малоактивного газа, составляющего 79 % атмосферы. Запасы азота в биосфере и гидросфере – на три порядка меньше, чем в атмосфере. Среднее соотношение массы углерода и азота в наземной биомассе и почвах C: N = 160: 15.

Несмотря на относительно малые запасы азота в биосфере и гидросфере, там это активный элемент, быстро обменивающийся между геосферами. Картина химических процессов цикла азота чрезвычайно сложна и разнообразна, потому что азот проходит сквозь воздух, воду и почву в различных химических формах и к тому же видоизменяющихся. В наземном и океаническом субциклах азота сосредоточено до 95 % всех его потоков.

Важнейший антропогенный поток в цикле азота – использование азотных удобрений. После Второй мировой войны происходило неуклонное увеличение их производства из азота атмосферы. Однако последние два десятилетия этого века удельное использование азотных удобрений (в кг/га) как в развитых странах, так и в странах СНГ сократилось или стабилизировалось, тогда как их применение в развивающихся странах все еще увеличивается. Приблизительно 50 % азота, вносимого в агроэкосистемы, попадает в состав сельскохозяйственных растений. Из этого количества около половины убирается с поля с урожаем, а другая половина остается в органическом веществе почвы. Современное земледелие, таким образом, изменило общее направление потока азота: не от почвы в атмосферу, а наоборот. Рост численности

населения и опережающей его потребности в белковом питании заставили человека интенсифицировать азотный цикл, чтобы производить больше белка. Однако это привело к загрязнению окружающей среды и, в частности, к интенсификации процесса эвтрофикации водоемов.

Другим фактором антропогенной интенсификации потоков азота является энергетика, поскольку при сжигании угля, нефти и ее продуктов, сланцев, торфа и пр. увеличивается эмиссия в атмосферу аммиака и оксидов азота. В свою очередь, оксиды азота и аммиак играют решающую роль в процессах асидификации окружающей среды.

*Глобальный цикл фосфора.*

Фосфор также один из важнейших химических элементов, поскольку он играет огромную роль в биологических и биогеохимических процессах. Фосфор – необходимый компонент ДНК и фосфолипидных молекул клеточных мембран. Наряду с азотом, фосфор контролирует биологическую продуктивность наземных и морских экосистем вследствие невысокого содержания этих элементов в экосистемах.

Основные резервуары фосфора – экосистемы суши, океаны и отложения наносов в водоемах. Газообразные формы фосфора практически не существуют, и поэтому в атмосфере его нет. В литосфере подавляющая часть фосфора кристаллических пород содержится в апатитах (95 %). Первоначально почти весь фосфор на суше образовался вследствие выветривания апатитов. Осадочные отложения вторичного характера – фосфориты, дающие около 80 % всей мировой добычи фосфора.

В естественных экосистемах связывание фосфора растениями находится в состоянии баланса с возвратом фосфора из растений благодаря распаду органического вещества. В растворенном виде фосфор всегда находится в динамическом равновесии с кислородом (в соединениях типа $P_2O_5$, $PO_4^{3-}$ и др.). В почвах и растительности среднее соотношение концентрации углерода и фосфора равно: C: N = 750:1.

Биогеохимия фосфора весьма отлична от биогеохимии других биогенных элементов (углерода, кислорода, азота, серы), поскольку фосфор, в отличие от других биогенов, практически не встречается в газообразной форме. Это создает однонаправленный поток фосфора вниз по уклону под действием силы тяжести, главным образом в виде тонкодисперсных наносов, на поверхности которых адсорбированы соединения фосфора. Таким образом происходит транспорт этого элемента реками в системы с замедленным водообменом (озера, водохранилища, моря и пр.), где и отлагаются наносы, относительно богатые

фосфором. Противоположного потока не существует, что создает реальную опасность значительного обеднения фосфором экосистем суши (в том числе и агроэкосистем) с соответствующим снижением их биологической продуктивности.

Антропогенный возврат фосфора из водоемов на водосборы пока невероятен и относится к элементам научной фантастики, но не исключено, что к середине XXI в. эту проблему надо будет решать.

Пока же вследствие антропогенной деятельности, приводящей к повышенной эрозии почв, смыву фосфорных удобрений и сбросу неочищенных сточных вод, интенсивность потоков фосфора в мире увеличилась. Это приводит к усилению процессов эвтрофикации водоемов. Общемировая величина потока фосфора в гидросферу оценивается величиной около 20 млн т в год.

*Глобальный цикл серы.*

Сера играет важную роль в биологических процессах, поскольку это необходимый компонент белков. Глобальный цикл серы отличается разнообразием биотических и абиотических процессов с участием различных компонентов в газообразной, жидкой и твердой фазах. С точки зрения геоэкологии, по-видимому, наиболее важны процессы обмена соединений серы между поверхностью суши и океана, с одной стороны, и атмосферой, с другой строны.

Изо всех глобальных биогеохимических циклов основных биогенных элементов (C, O, N, P, S) цикл серы наиболее сильно нарушен деятельностью человека. Важнейшее антропогенное воздействие – это эмиссия оксида серы $SO_2$, возникающая благодаря сжиганию горючих ископаемых, прежде всего угля. Около 90 % мировой эмиссии этого газа характерно для Северного полушария. С 1860 по 1980 гг. антропогенная эмиссия $SO_2$ увеличилась от 2 млн т серы в год до 70 млн т, то есть в 35 раз! В среднем антропогенный поток серы вдвое превышает естественный поток. Современный сток соединений серы по речным системам также более чем вдвое превышает его первоначальную, доиндустриальную величину вследствие эрозии почв, применения удобрений, выпадений из атмосферы и пр.

Антропогенное нарушение цикла серы определяет или серьезно влияет на ряд глобальных геоэкологических проблем, таких как асидификация экосистем, состояние озона в стратосфере и тропосфере и изменение климата.

* * *

Таким образом, экосфера характеризуется мощным и устойчивым притоком энергии извне и взаимосвязанными циклами вещества. При этом отличительная особенность естественных балансов энергии и вещества – высокая степень их сбалансированности. Выше мы уже приводили пример глобального баланса углерода, замыкающегося, в рамках геологического масштаба времени, с точностью $10^{-8}$ (или 0,000001 %)!

В настоящее время становятся весьма заметными воздействия человека как на энергетический баланс Земли, так и на глобальные циклы вещества. Медленная естественная эволюция экосферы была связана также с относительно малоинтенсивным потоком биогенных элементов, резко усилившимся в антропогенных системах, что приводит к повышению неустойчивости экосферы.

Как правило, естественные вещественно-энергетические круговороты и балансы экосферы и отдельных ее частей отличаются высокой степенью замкнутости, в то время как деятельность человека ведет к разомкнутости и, следовательно, к неустойчивости систем. Степень разомкнутости может быть оценена по средней скорости оборота вещества за год:

$$\frac{(\text{Приход})-(\text{Расход})}{(\text{Приход})}$$

Например, в целинной степи средняя скорость оборота углерода и других биогенов – порядка нескольких тысяч лет. После распашки степи значительное количество углерода, азота и фосфора выносится из системы как в виде ежегодного урожая, так и вследствие водной и ветровой эрозии почв, а также и из-за других причин антропогенного происхождения (например, пожаров). Система становится разомкнутой, со средней скоростью оборота вещества, превышающей естественную в сотни и тысячи раз, и, следовательно, неустойчивой. Нарушения замкнутости как локальных систем, так и глобальных циклов приводят к серьезным геоэкологическим проблемам, которые будут детально анализироваться в последующих главах.

Следует подчеркнуть, что понимание циклов отдельных биогенных элементов намного превышает понимание механизма комбинаций циклов, то есть того, как эти процессы происходят на самом деле в экосфере.

Основные геоэкологические проблемы в их взаимосвязи с глобальными биогеохимическими циклами показаны в табл. 1.

*Таблица 1*

**Взаимосвязь глобальных биогеохимических циклов и геоэкологических проблем**

| Биогеохимический цикл | Изменение климата | Нарушение озонового слоя | Загрязнение воздуха | Асидификация экосистем | Эвтрофикация | Снижение естественной биол. продуктивности |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Углерода | + | + | + | | | + |
| Азота | + | + | + | + | + | + |
| Фосфора | | | | | + | + |
| Серы | + | + | + | + | | + |

Все антропогенные экосистемы, даже самые высокоурожайные, прекрасно возделываемые поля и хорошо ухоженные парки отличаются высокой степенью незамкнутости. С этой точки зрения, природно-антропогенные системы, такие как поля, сады, огороды, пастбища, лесные плантации, не говоря уже о городских системах, вносят все усиливающуюся неустойчивость в состояние экосферы. Это затрагивает основы функционирования экосферы и, в конечном итоге, ведет к многочисленным серьезным последствиям в социально-экономической и политической сферах.

## II.4. Роль биоты в функционировании экосферы

Биота – это совокупность организмов, обитающих на какой-либо территории. Живые организмы играют огромную определяющую роль в формировании и функционировании экосферы. Именно они превратили Землю в планету, резко отличающуюся от других. Биота обеспечивает стабильность экосферы, поддерживая оптимальные условия ее существования и гася возмущения.

Один из самых важных, а может быть, и наиважнейший природный процесс в экосфере – фотосинтез, то есть процесс образования растительностью органического вещества из углекислого газа атмосферы и воды с использованием солнечной энергии. Простейшая химическая реакция фотосинтеза может быть записана следующим образом:

$$6CO_2 + 6H_2O + \lambda \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2,$$

где λ – это солнечная радиация.

При образовании органического вещества в процессе фотосинтеза, растения, в дополнение к углероду, водороду и кислороду, присоединяют в органическое вещество азот и серу. *Фотосинтезированное органическое вещество – это важнейший возобновимый ресурс экосферы, основа всей жизни и мощный регулятор глобальных биогеохимических циклов.*

Удивительно, что для фотосинтеза используется менее одного процента поступающей к поверхности Земли солнечной радиации. Убедительного объяснения столь низкого коэффициента использования энергии Солнца, по-видимому, пока не найдено.

Заметим, что по абсолютной величине суммарная энергия, затрачиваемая на фотосинтез, значительна. Она на порядок превышает количество энергии, потребляемой человеческим обществом.

Наряду с синтезом органического вещества в природе, происходит и его разложение, или деструкция, то есть распад органических структур на составные части, включая питательные (биогенные) вещества, с выделением энергии. И в этом процессе биота играет определяющую роль. На глобальном уровне, вследствие, главным образом, деятельности биоты, устанавливается с очень высокой степенью точности баланс между продукцией и деструкцией органического вещества. Тем самым обеспечивается устойчивость цикла углерода, этого важнейшего биогеохимического круговорота.

Биота осуществляет также весьма эффективное управление потоками и концентрацией биогенных элементов, определяя тем самым устойчивость соответствующих глобальных биогеохимических циклов.

Очень важно, что в процессе фотосинтеза образуется также и кислород. Именно благодаря деятельности биоты атмосфера Земли имеет значительное содержание кислорода. Одним из фундаментальных последствий формирования кислородной атмосферы было образование озонового слоя, отсекающего наиболее жесткую, губительную для живых организмов часть ультрафиолетовой солнечной радиации, что позволило биоте в процессе ее эволюции выйти из океана на сушу.

Важнейшую роль биота играет в выветривании (разрушении) горных пород и образовании почв: микроорганизмы обеспечивают эффективное формирование большей части мелкодисперсной фракции почв, играющей определяющую роль в плодородии почв.

Перечисление важнейших глобальных процессов, в которых биота играет определяющую или важную роль, могло бы быть

продолжено.

Общество в процессе своей эволюции оказывало все увеличивающееся давление на окружающую среду. Во многих случаях это давление осуществляется посредством воздействия на биоту и биогенные процессы. Человек как биологический вид находится на верхнем уровне экологической пирамиды. Это означает, что в соответствии со сложившимися в природе соотношениями, он может потреблять не более нескольких процентов от производимого в процессе фотосинтеза органического вещества. На самом деле он потребляет или разрушает около 40 % органического вещества, производимого растительностью суши. Это является важнейшим индикатором глобального экологического кризиса.

## II.5. Географическая зональность ландшафтов мира и ее эволюция

Шарообразность вращающейся Земли обеспечивает наиболее высокое поступление солнечной радиации на экватор и наименьшее – к полюсам. Между этими точками суммарные за год величины солнечной радиации не линейно, но плавно изменяются. В результате формируются климатические пояса. Каждый пояс отличается своим характерным набором природных условий:

- особенностями формирования присущих каждому поясу основных воздушных масс;
- местом и ролью пояса в общей циркуляции атмосферы;
- структурой теплового баланса;
- структурой водного баланса и водным режимом;
- особенностями геоморфологических процессов;
- особенностями геохимических процессов;
- особенностями формирования почв и их типа;
- биогеографическими особенностями, в том числе типом растительности;
- особенностями структуры ландшафтов более низких рангов.

Широкий набор природных особенностей каждого пояса позволяет называть пояса географическими. Существует тринадцать географических поясов: экваториальный, северный и южный субэкваториальный, северный и южный тропический, северный и южный субтропический, северный и южный умеренный, субарктический, субантарктический, арктический и антарктический. На идеальной Земле с однородной поверхностью географические пояса имели бы вид правильных колец. Географические пояса в целом действительно имеют широтное

направление, но вследствие, главным образом, неравномерного распределения суши и океана размещение поясов во многих местах заметно отклоняется от идеальной картины.

Наибольшую площадь фактически занимают субтропический и тропический пояса, что близко к выводу, приведенному выше для идеальной шарообразной Земли. Эти пояса занимают около 50 % площади Земли.

Географический пояс – наиболее крупная таксономическая единица поверхности Земли. Пояса делятся на географические зоны, формирующиеся в зависимости от условий увлажнения и теплового баланса. Один из важнейших факторов – степень удаленности от океана и, следовательно, степень континентальности климата. Каждая зона отличается общностью типа растительности и почв, гидрологических, геохимических, биогеографических и других процессов. При этом ведущий признак для выделения зон – преобладающий тип растительности. Типичными примерами географических зон в северном умеренном поясе являются: зона широколиственных лесов, зона смешанных лесов, зона степей и др.

Каждая географическая зона отличается, как правило, специфическими проблемами взаимоотношения природы и общества, иными словами, характерным для каждой зоны набором геоэкологических проблем.

Внутри зоны важнейшим фактором таксономического деления поверхности суши является рельеф и геологическое строение. На равнинах и в невысоких горах мы имеем дело с зональными типами ландшафта, под которыми подразумеваются наиболее типичные и распространенные ландшафты конкретного географического пояса, обусловленные определенными параметрами тепла и влаги на разных морфоструктурах, то есть крупных элементах рельефа со специфическим геологическим строением.

Биогеохимические процессы, особенности почв и растительности каждого зонального типа ландшафта на различных материках имеют сходство, но в то же время сохраняются и местные различия, что позволяет говорить не о тождественности зональных типов ландшафтов на разных материках, а об их аналогичности или похожести.

В горных районах важнейшим фактором формирования ландшафтов является снижение величины теплового баланса поверхности суши по мере роста высоты места над уровнем моря. Показателем снижения величины теплового баланса с высотой является падение температуры воздуха в среднем на 0,6 °С на 100 м подъема, что соответствует перемещению на равнинах

умеренного пояса приблизительно на 600 км в сторону полюса. В результате формируются вертикальные географические зоны, похожие, но не аналогичные зонам на равнинах. Структура вертикальной зональности (наборы или спектры зон) зависит от положения самой нижней зоны в том или ином географическом поясе и зоне, а также от высоты горной системы.

Существование вертикальной зональности в горах и ее сходство с зональными типами ландшафтов на равнинах суши земного шара указывают на трехмерность географических зон. На карте «Природные пояса и зональные типы ландшафтов мира», подготовленной географическим факультетом МГУ (1988 г.), выделяется 96 зональных типов ландшафтов и 56 спектров высотной зональности. Эта карта отражает то естественное состояние Земли, которое было до начала активного воздействия на нее человека.

На Земле существуют весьма ясные закономерности размещения зон в пространстве, с соответствующими четкими наборами природных особенностей, такими как соотношение компонентов теплового и водного балансов, зональные особенности процессов выветривания горных пород, биогеохимических процессов, почв и растительности. Существование этих особенностей и их закономерное распределение отражают географическую зональность ландшафтов Земли.

Отличительной чертой ландшафтов является постоянное изменение их состояния. Природные условия на Земле колеблются, часто весьма значительно. Изменяется климат на Земле в целом и в отдельных ее районах. Увеличивается или, наоборот, сокращается материковое и морское оледенение. Соответственно понижается или же растет уровень Мирового океана. В результате меняется как положение географических поясов и зон, так и их особенности. Выделяется ряд ритмов изменения состояния природы различной периодичности, накладывающихся друг на друга.

Около 10 тысяч лет тому назад исчезла основная часть последнего материкового оледенения (за исключением Гренландии и Антарктиды). Наступила эпоха голоцена, в которой мы живем и в течение которой в основном сформировалась та система географических поясов, зон и зональных типов ландшафтов, которая существовала бы и без воздействия человека. В западной литературе такие ландшафты называются потенциальными.

В голоцене также происходили изменения природной обстановки, но меньшего масштаба, чем в течение всего

четвертичного периода. Во время так называемого атлантического оптимума (7–5 тыс. лет назад) средняя температура воздуха была примерно на два градуса выше, чем сейчас. Повышение температуры сопровождалось изменением количества осадков. В сухой сейчас пустыне Сахара были ландшафты саванны, существовали реки и озера. Происходили и другие колебания природной обстановки. Последним заметным природным событием, отличавшимся от современных условий, был так называемый малый ледниковый период (XVII–XIX вв). В это время ледники Альп, Кавказа и других горных систем значительно увеличивались в размерах. Во время малого ледникового периода положение ландшафтных зон на равнинах изменялось незначительно, но заметно переместились высотные ландшафтные зоны.

В целом можно сказать, что на протяжении геологической истории происходили постоянные и необратимые изменения экосферы. Изменения отражались в состоянии отдельных компонентов ландшафта. Природно-территориальные комплексы усложнялись, и в целом экосфера становилась все более разнообразной и сложной. Поэтому можно сказать, что ландшафтная картина мира отражает не только современные природные условия в соответствии с законом географической зональности, но и историю развития ландшафтов.

Ландшафтная картина еще более усложнялась, по мере того как деятельность человека становилась все более заметным геоэкологическим фактором. Вследствие активной хозяйственной деятельности человека естественные («потенциальные») ландшафты в значительной степени видоизменились. При этом каждый зональный тип ландшафта был трансформирован по-своему. В этой связи говорят *о современных ландшафтах как территориальных комплексах, сложившихся в результате трансформации естественных ландшафтов деятельностью человека.* Карта современных ландшафтов мира масштаба 1: 15 000 000 подготовлена и издана совместно Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП) и географическим факультетом МГУ в 1993 г.

Современные ландшафты подчиняются в основном законам природы, но и законы человеческого общества играют в них все усиливающуюся роль. При этом чем больше роль социальных факторов, тем в большей степени ландшафты трансформированы.

# III. Социально-экономические факторы экосферы

## III.1. Основные факторы состояния экосферы

Воздействие социально-экономических процессов на экосферу (В) зависит от трех основных групп факторов: населения (Н), потребления (П) и технического прогресса (Т):

$$В = Н \times П \times Т.$$

Каждая из этих групп состоит, в свою очередь, из многих более конкретных факторов. Это соотношение не следует рассматривать как строгую математическую формулу, а скорее как логическое соотношение, в котором факторы могут рассматриваться как взаимозаменяемые. Поэтому данное выражение может быть использовано также в качестве показателя нагрузки на экосферу и ее отдельные части.

Рассмотрим эти три основные группы социально-экономических факторов, их значение для состояния экосферы и, соответственно, возможности управления ею.

## III.2. Население мира как геоэкологический фактор

*Численность населения* предопределяет суммарные потребности общества в питании, одежде, жилище, образовании, медицинском обслуживании и других услугах и ресурсах. Это вызывает значительное антропогенное давление на многие природные системы и их деградацию, возрастающее расходование естественных ресурсов и, как следствие, многочисленные и серьезные геоэкологические проблемы. Таким образом, численность населения становится важнейшим геоэкологическим фактором. При этом, вследствие естественного желания жить материально лучше, потребности людей обгоняют рост их численности.

Начало голоцена (около 10 тыс. лет тому назад) – отправная точка для оценки современного состояния экосферы. В то время численность населения Земли составляла 5—10 млн чел. С того времени происходил в целом рост населения, сначала медленный и с колебаниями, а затем все более ускоряющийся. Количество людей на Земле изменялось следующим образом:

| Год | 0 | 1000 | 1800 | 1925 | 1960 | 1974 | 1987 | 2000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Млрд чел. | 0,25 | 0,28 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

В особенности значительный рост численности населения происходил во второй половине XX в., в течение которой население более чем удвоилось. Наибольший относительный прирост населения увеличивался, достигнув в конце 60-х гг. максимума, равного 2,06 % в год. Однако абсолютный прирост продолжает увеличиваться – от 65 млн в год в 1965 г. до 80 млн в 1985 г. и примерно 90 млн чел. в 1995 г. Ожидается, что вскоре абсолютный прирост численности населения мира за год также пойдет на убыль. Согласно демографическим прогнозам, стабилизация численности населения мира произойдет в середине XXI в. на уровне $10 \pm 2$ млрд. чел.

Почему должна произойти стабилизация численности населения? В соответствии с теорией выдающегося американского демографа Фрэнка Ноутштайна, экономический и социальный прогресс влияет на рост населения, обеспечивая процесс так называемого *демографического перехода.* Каждая из стран мира находится на одной из трех стадий перехода.

На первой стадии и рождаемость, и смертность высоки, а численность населения увеличивается медленно или вовсе не увеличивается. На второй стадии, вследствие улучшения условий жизни, в частности, распространения медицинского обслуживания (пусть даже элементарного, как, например, иммунизация населения), смертность сокращается, а рождаемость остается высокой, и численность населения быстро возрастает. На третьей стадии, завершающей процесс демографического перехода, благодаря социальным и экономическим достижениям, в совокупности с сократившейся детской смертностью, размер семей уменьшается. Как и на первой стадии, рождаемость и смертность приходят в равновесие, но на гораздо более низком уровне численности.

Всемирный процесс демографического перехода в целом развивается в соответствии с теорией Ноутштайна. К началу 1990 гг. в 24 странах Европы, включая Россию, а также и в Японии демографический переход практически завершился. В этих странах ежегодный прирост населения не превышает 0,3 %, так что численность населения практически стабилизировалась.

Другие страны в основном находятся на различных этапах второй стадии, что и объясняет быстрый прирост населения. Рост численности населения происходит в основном за счет развивающихся стран, доля которых, составляющая сейчас 75 %, к 2030 г. достигнет 85–87 % населения мира. Первую стадию

прошли почти все страны мира. Всего лишь сто лет тому назад почти все страны Западной Европы находились на первой стадии демографического перехода.

Приводимая на рис. 3 карта-схема показывает среднее число детей в семье по странам (показатель фертильности). При показателе, равном 2,1–2,2, численность населения стабилизируется.

**Рис. 3. Распределение по странам мира среднего числа детей, приходящегося на одну женщину**

Если мы посмотрим на *распределение численности населения мира по возрастам,* то обнаружим, что в развитых странах доля населения для каждой возрастной группы (например, 0-10 лет, 11–20 лет, . , 60–70 лет и т. д.) остается приблизительно одинаковой. В то же время для развивающихся стран эта доля существенно неодинакова, и численность молодых людей заметно преобладает, что является основой для дальнейшего роста численности населения этой части мира с вытекающим отсюда возрастанием антропогенной нагрузки.

Тем не менее, *стабилизация численности населения мира*, то есть переход стран на третью стадию, не за горами. Так завершится чрезвычайно важный для состояния экосферы, возможно, важнейший процесс перехода от численности населения мира, не превышавшей 2 млрд чел., к численности порядка 10 млрд чел. всего лишь за столетие или чуть дольше. Вследствие системных особенностей экосферы этот переходный

процесс влечет за собой целый ряд других переходных явлений, о которых речь пойдет далее.

Теория демографического перехода не учитывает все основные факторы. Если население какой-либо страны возрастает до такого уровня, что его потребности уже превышают природный потенциал, обеспечивающий как возобновимость основных ресурсов (например, местных лесов, пастбищ, почвы, воды, рыбы и пр.), так и потенциал поглощения и деструкции загрязнений, то оно начинает, прямо или косвенно, само потреблять и разрушать свою ресурсную базу. Эта ситуация называется *демографической ловушкой* (demographic trap). По-видимому, ряд развивающихся стран находится в ситуации, близкой к вышеописанной. Вследствие ухудшающегося уровня жизни населения этих стран смертность может увеличиваться, и такие страны могут вернуться к состоянию первой стадии демографического перехода, но при гораздо более высокой численности жителей. Последствия такого регрессивного перехода пока трудно предсказуемы, но, несомненно, весьма неблагоприятны.

Наиболее населенным регионом мира является юго-восточная Азия (Китай, Индия, Пакистан, Бангладеш, Индонезия и др.), где проживает около половины всех людей на Земле, причем столь высокая доля оставалась примерно одинаковой по крайней мере в течение двух последних тысяч лет. Эта огромная территория подверглась, по-видимому, и наибольшей антропогенной трансформации.

Численность населения мира увеличилась за последние 250 лет приблизительно в пять-семь раз. За тот же период население Северной Америки увеличилось в сто раз, а в Южной Америке примерно в 20 раз, в основном за счет иммиграции из Восточного полушария. Эти цифры дают представление о степени возрастания антропогенной нагрузки в различных районах экосферы, а также о важной геоэкологической роли процессов *миграции населения.*

В особенности увеличивается и будет продолжать расти относительная и абсолютная численность *городского населения,* преимущественно в развивающихся странах. Городские системы (см. Раздел X.2) представляют собой пример почти полной антропогенной трансформации территории. Значительную роль в антропогенной трансформации играют также связи между городами и окружающей их территорией.

Немалую роль в характере антропогенной нагрузки, в особенностях взаимоотношений людей с природой, в потребностях в естественных ресурсах и пр. играют национальные традиции, опыт и привычки. Вот как об этом пишет, с долей

иронии и юмора, Л. Туроу (США):

«Если бы население мира имело производительность труда швейцарцев, уровень потребления китайцев, стремление к равенству, присущее шведам, и общественную дисциплину японцев, то наша планета могла бы многократно обеспечить потребности всего современного населения мира. С другой стороны, если бы население мира имело производительность жителей Чада, уровень потребления американцев, традиционное неравенство, характерное для индийцев, и общественную дисциплину аргентинцев, то наша планета не смогла бы обеспечить потребности даже современного населения Земли».

Итак, мы можем сделать следующие выводы:

а) численность населения мира будет продолжать расти, но в конце концов стабилизируется на уровне $10 \pm 2$ млрд чел. приблизительно в середине XXI в.;

б) доля развивающихся стран в общем количестве населения мира еще более увеличится, достигнув 85–87 %;

в) существует опасность, что в некоторых странах потребности населения превзойдут имеющиеся ресурсы, что может привести к геоэкологическому кризису с плохо предсказуемыми последствиями;

г) миграции населения играют важную роль в формировании геоэкологической нагрузки;

д) как относительная доля, так и абсолютная величина городского населения, в особенности в развивающихся странах, в ближайшие десятилетия будут возрастать;

е) во всех районах мира население станет старше, что приведет к изменению стиля жизни и модификации потребностей населения.

Каждый из этих пунктов ведет к серьезнейшим последствиям геоэкологического характера. При росте населения до приблизительно 6 млрд чел. в экосфере произошли глубокие и неблагоприятные изменения кризисного характера, что и дает право оценить современную ситуацию как глобальные изменения (global change). Каких же последствий можно ожидать при дальнейшем росте населения от 6 до 10 миллиардов? Выдержит ли экосфера столь большую нагрузку или же многие ее компоненты начнут деградировать, вызывая жесточайший кризис всей глобальной природно-социальной системы?

Чрезвычайно важно также, остановится ли рост населения на нижнем или верхнем уровне прогноза численности, то есть на 8 или 12 миллиардах. При этом увеличение населения мира до 8 млрд практически неизбежно, так как молодые люди, которые будут создавать свои семьи и таким образом увеличивать

численность населения мира, уже родились, а доля их в развивающихся странах, как мы уже знаем, высока.

Возникает необходимость неотложной разработки *демографической стратегии* как на национальном, так и, желательно, на общемировом уровне. Для каждой страны демографическая стратегия должна учитывать национальные особенности в области экономики, природных и других ресурсов, истории, религии, культуры и пр. Многие страны приняли такую стратегию или обсуждают ее, включая Россию.

Понимая, что потенциальная емкость национальной территории ограничена, правительство Китая уже в течение ряда лет проводит жесткую демографическую политику, направленную на сокращение роста населения. Городским семьям разрешается иметь только одного ребенка, а сельским – двух детей. Для обеспечения политики разработана система поощрений и наказаний. Это позволяет затормозить рост населения самой многочисленной страны мира, но не на том уровне, как планировалось, а на более высоком, порядка 1,2 млрд чел. В сельских районах Китая среднее количество детей в семье все же превышает двух. Одна из основных причин неполного успеха заключается в том, что в сельских районах Китая отсутствует пенсионное обеспечение, и фактически действует традиционная система, когда старость тем лучше обеспечена, чем больше в семье детей, в особенности мальчиков как будущих кормильцев родителей.

В 1970 гг. правительство Индии пыталось ввести силовую политику контроля рождаемости, но потерпело неудачу. Численность жителей Индии выросла с 850 млн чел. в 1991 г. до 1 млрд в 2000 г. Добровольные меры заметного успеха не приносят, и ожидается, что в недалеком будущем численность населения Индии превысит численность населения Китая. На юге Индии (штаты Керала и Тамилнаду) сумели установить контроль рождаемости, тогда как северные штаты отличаются крайне высоким приростом населения, отрицательно влияющим на показатели всей страны.

На общемировом уровне Конференция ООН по народонаселению, состоявшаяся в Каире в 1994 г., приняла, после тяжелых дискуссий, решение о необходимости стабилизации населения на уровне 7,8 млрд чел. Хотя эта цифра и не подкреплена необходимыми согласованными действиями, принятие ее имеет очень важное политическое значение, потому что она отражает желание государств мира повлиять на рост численности населения.

О росте населения и его регулировании как важнейшем

факторе существования человечества пишет современный американский биолог и философ Пол Эрлих: «Взрыв, вызванный ростом численности населения, не за горами. Необходимо только понять, будет ли рост остановлен цивилизованно, посредством контроля рождаемости, или же природа сметет излишки населения… Сегодня любой человек, выступающий против контроля рождаемости, неосознанно голосует за управление численностью населения посредством массового увеличения случаев неоправданно ранней смертности».

Существуют гипотезы, говорящие о том, что экосфера может быть в устойчивом состоянии при уровне численности населения мира, не превышающей 2 млрд чел. При превышении этого уровня численность населения регулируется стихийно, посредством голода, болезней, межнациональных конфликтов, гражданских войн и пр. Межплеменные кровопролитные конфликты в ряде стран выглядят как борьба за политическую власть; на самом деле в основе столкновений – перенаселенность стран и, следовательно, борьба за ресурсы.

Можно говорить о том, что имеются два предельных состояния: или при численности населения мира, не превышающей потенциальную емкость экосферы, то есть порядка 2 млрд чел., что обеспечивало бы ее устойчивость и относительно благополучную жизнь для всего населения Земли, или же при численности населения порядка 10 млрд и более, ведущей к природным и общественным кризисам и катастрофам и к существованию в условиях дефицита продовольствия, энергии, природных ресурсов и пр.

В первом сценарии потребуется продолжительное время, порядка нескольких поколений, чтобы придти к искомому уровню населения относительно мирным путем, сознательно и целенаправленно, хотя и не без трудностей. Вопрос в том, успеет ли человечество встать на путь перехода к немногочисленному населению и осуществить его. В противном случае развитие будет происходить по второму сценарию.

Во втором сценарии численность населения уже сейчас регулируется непроизвольно вследствие таких, например, событий как межплеменные столкновения в Руанде и Бурунди, гражданская война в Сомали или Анголе, голод в регионе Сахеля или массовая гибель людей в Бангладеш и Мньянме от наводнений и голода.

## III.3. Потребление природных ресурсов и геоэкологических «услуг»

## III.3.1. Рост потребления

С точки зрения геоэкологии, под потреблением понимается использование обществом ресурсов экосферы, то есть как физических ресурсов, таких как минеральное сырье, продукты жизнедеятельности биосферы, вода, воздух и пр., так и «услуг» ее систем жизнеобеспечения, таких как поглощение и переработка отходов, или обеспечение основных механизмов биосферы, таких как глобальные биогеохимические циклы. Потребление направлено на удовлетворение материальных и, косвенно, некоторых духовных потребностей. Другое употребляемое понятие для обозначения степени использования ресурсов и систем экосферы – это богатство, или достаток, или уровень жизни.

Потребности людей растут быстрее, чем численность населения. Не будет ошибкой сказать, что если рост населения изменяется в арифметической прогрессии, то соответствующий рост потребления – в геометрической, и потому потребление является очень важным геоэкологическим фактором.

Одним из важнейших показателей экологической нагрузки является произведение численности населения мира на величину потребления природных ресурсов и систем жизнеобеспечения на душу населения. Следовательно, регулирование антропогенного давления на экосферу может проводиться посредством регулирования численности населения или величины потребления, или обоими путями сразу.

Потребление – весьма инерционный фактор, потому что оно основывается на многовековых традициях и его невозможно изменить в одночасье.

Индикатором всемирного потребления и его изменений может быть объем промышленного производства:

| *Год* | *1750* | *1830* | *1900* | *1938* | *1953* | *1980* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Промышленное производство (1900 = 100) | 24 | 34 | 100 | 311 | 568 | 2042 |
| Население, млн | 780 | 1120 | 1640 | 2220 | 2640 | 4410 |

Промышленное производство неуклонно росло, а следовательно, увеличивалось и его воздействие на экосферу. Всего за период 1750–1980 гг. его объем вырос в 85 раз, причем в особенности резким был рост во вторую половину XX века. Самым быстрым был прирост промышленного производства за двадцатилетие 1953–1973 гг., когда оно выросло примерно на

столько же, насколько оно увеличилось за 150 лет, с 1800 г. по 1950 г. Именно в это двадцатилетие воздействие человека на экосферу впервые принесло серьезные проблемы глобального характера.

Промышленное производство на душу населения возросло за тот же период в 15 раз, а мировое сельскохозяйственное производство на душу населения увеличилось более чем в три раза, или, по объему, примерно в 20 раз, что также указывает на серьезнейшие антропогенные воздействия на экосферу.

Объем мировой экономики, выраженный в стоимости совокупного продукта за год (в долларах США), удваивался в XX в. каждые 20 лет. В ближайшие десятилетия ожидается дальнейшее увеличение совокупного продукта с соответствующим возрастанием нагрузки на экосферу:

| Год | 1900 | 1950 | 1986 | 2050 |
|---|---|---|---|---|
| Совокупный мировой продукт, Млрд долл. США/год | 600 | 3000 | 13000 | 65000 |

## III.3.2. Природные ресурсы

Природные ресурсы экосферы подразделяются на невозобновимые (полезные ископаемые), возобновимые (в основном биологические) и «неисчерпаемые» (энергия Солнца, вода, воздух, тепло недр и др.) (рис. 4). К этой же последней категории могут быть отнесены и такие системы жизнеобеспечения, как глобальные биогеохимические циклы основных элементов, глобальный гидрологический цикл, циркуляция атмосферы и океана, процессы синтеза-деструкции органического вещества и пр. Это весьма условное деление. Границы между категориями ресурсов размыты. Эти границы относительны с точки зрения времени. Например, минеральные ресурсы и почвы продолжают создаваться и эволюционировать и в наше время. Вода, в целом возобновимый ресурс, может быть при определенных обстоятельствах невозобновимым ресурсом.

**Рис. 4. Основные виды природных ресурсов**

Современная промышленность и энергетика основывается в основном на использовании невозобновимых ресурсов, а именно полезных ископаемых, подразделяемых на три основные группы: горючие ископаемые (нефть, газ, уголь и др.), металлы (железо, алюминий, медь и пр.) и неметаллическое минеральное сырье (соединения серы, фосфора, поваренная и другие соли и пр.). Первая группа относится также к категории уничтожаемых ресурсов, а две другие группы – к категории рассеиваемых ресурсов.

Индустриализация резко увеличила добычу и использование полезных ископаемых. Производство стали в мире с начала этого века увеличилось более чем в 70 раз, нефти в 130 раз, алюминия более чем в 1700 раз. Этот интенсивный рост связан главным образом с увеличением доходов на душу населения и повышением уровня потребления в богатых странах и только во вторую очередь с ростом численности населения и потреблением в менее развитых странах, потому что в последних более двух третей семейных доходов идет на питание.

Рост добычи полезных ископаемых в мире приводит к возникновению геоэкологических проблем, связанных: а) с возможным глобальным кризисом вследствие нехватки тех или иных минеральных ресурсов и б) с включением новых, антропогенных потоков в глобальные циклы вещества и энергии, что значительно изменяет системы жизнеобеспечения экосферы.

Суммарная добыча большинства полезных ископаемых за текущие десятилетия намного превысила разведанные запасы к началу этого периода. Тем не менее, запасы почти всех полезных ископаемых за это время выросли благодаря геологической разведке, которая обеспечивает перевод полезных ископаемых из категории ресурсов (то есть материалов, имеющихся в земной

коре) в категорию резервов, по западной терминологии, или запасов, по российской терминологии. Резервы (запасы) – это часть минеральных ресурсов, технологически доступных и экономически целесообразных для добычи. Например, производство железа в мире за 1950–1980 гг. составило 11 млрд т, но запасы железа в руде выросли за это время с 19 млрд т до 93 млрд т.

Похоже, что скорость прироста разведанных запасов полезных ископаемых растет быстрее, чем их добыча. За последние 20–30 лет как запасы, так и отношение запасов к ресурсам в мире увеличились. Лишь очень немногие ископаемые обнаруживают уменьшение запасов, то есть превышение скорости их добычи над скоростью прироста запасов. Цены на мировом рынке на минеральное сырье в основном снижаются, что также указывает на изобилие этих товаров, хотя это и не единственный фактор, определяющий цену сырьевых ресурсов.

При современном уровне добычи разведанных запасов цинка, свинца, ртути хватит на 20 лет, нефти будет достаточно на 40 лет, железа, угля, алюминия – более чем на 100 лет, причем эти цифры имеют тенденцию к возрастанию. Последнее обстоятельство позволяет надеяться, что в целом минеральные ресурсы не станут в ближайшие десятилетия основной причиной глобального геоэкологического кризиса.

Важнейшим вопросом потребления является *эффективность использования ресурсов*. Мы будем обсуждать этот вопрос в следующем разделе, посвященном технологии. Здесь отметим лишь, что потребление различных полезных ископаемых как на душу населения, так и на единицу производимого продукта в последние десятилетия в мире сокращается.

Еще сравнительно недавно, 10–20 лет тому назад, популярной темой в литературе был ожидаемый кризис, вызванный грозящей нехваткой тех или иных минеральных ресурсов. Опасность этого кризиса, по-видимому, отодвинулась, но вопрос не снят полностью с повестки дня, потому что прогнозирование спроса на полезные ископаемые содержит много неопределенностей, и запасы тех видов минерального сырья, которые измеряются десятками лет, не дают оснований для спокойствия.

В особенности этот вопрос важен для энергетики. Посредством сжигания горючих ископаемых в мире производится около 80 % энергии, и нехватка их без соответствующего изменения источников энергии означала бы не кризис, а катастрофу. Тем не менее, к середине 90-х гг. становится ясно, что главным в изменении типа энергетики, то есть в переходе к

возобновимым источникам энергии, будет все же не недостаток горючих ископаемых, а угроза системе жизнеобеспечения Земли вследствие неконтролируемого парникового эффекта. Асидификация территорий (см. гл. V.4), также возникающая преимущественно вследствие тепловой энергетики, еще один серьезный фактор в необходимости перехода к возобновимым источникам энергии.

Если иметь в виду столь серьезные глобальные геоэкологические последствия, то возникает не проблема дефицита горючих ископаемых, а вопрос, будут ли все доступные ресурсы горючих ископаемых когда-нибудь сожжены, или экологические ограничения заставят остановить тепловую энергетику, прежде чем будут израсходованы все запасы горючих ископаемых.

Еще более сложны проблемы использования возобновимых ресурсов. В целом в мире их количество и качество сократилось под воздействием деятельности человека. Поскольку важнейший источник возобновимых ресурсов – это фотосинтез, создающий первичное органическое вещество, мы будем обсуждать геоэкологические проблемы, связанные с использованием этих ресурсов, главным образом, в главе, посвященной биосфере (гл. IX). С общесистемной, экосферной точки зрения, потребление человеком биологической продукции превысило пределы, обусловливающие устойчивость экосферы, в частности, вызвало нарушение глобальных и локальных биогеохимических циклов и снижение биологического разнообразия на генетическом, видовом и экосистемном уровнях.

«Неисчерпаемые» природные ресурсы, потребляемые обществом, это в значительной степени ресурсы атмосферы и гидросферы. Потребление этих ресурсов человеком приводит к изменению химического состава атмосферы с соответствующими серьезными последствиями, к ухудшению качества природных вод и трансформации как локальных, так и глобального круговоротов воды. Мы будем обсуждать эти вопросы в последующих главах.

### III.3.3. Различия в уровнях потребления

Обсуждая принципиальные вопросы потребления природных ресурсов и экосферных «услуг», нельзя не сказать о различии в уровнях потребления как внутри стран, так и между странами.

Разница в уровнях потребления различных стран очень велика. Например, в развивающихся странах потребление нефти, газа, угля и стали на душу населения на порядок меньше, чем в развитых странах.

Величина валового национального продукта (ВНП) дает определенное представление о разнице в уровнях потребления различных стран. ВНП – это стоимость всей конечной продукции и услуг (за год), произведенных на территории данной страны. В 1993 г. ВНП всех стран мира составил 29 триллионов 135 миллиардов долларов (Мироненко, 1995). Из них на долю США приходится 21 %, Китая – 10 %, Японии – 9 %, Германии – 5 %, Индии – 4 %, Франции – 3 %. ВНП России был 725 млрд долларов, или 2,5 % от общемирового. ВНП развитых и развивающихся стран различаются на порядок величины: в 1991 г. разница на душу населения США и Индии, например, была приблизительно в 20 раз.

Использование ресурсов жителями развитых стран превышает разумные потребности. Подсчитано, что обобщенный уровень потребления среднего жителя Швейцарии приблизительно в 40 раз больше уровня потребления жителя Сомали. Достаточно посмотреть также на огромные, забитые товарами магазины западных стран, чтобы понять, что преобладающая часть этих товаров не может быть раскуплена, и, таким образом, ресурсы, использованные для их производства расходуются впустую. В США только затраты на содержание очень приятных на вид лужаек у каждого дома равны примерно 7,5 млрд долларов в год. В то же время все виды иностранной помощи США составляют около 10 млрд долларов в год. Для сравнения укажем также, что расходы на лужайки на одного жителя США порядка 50 долларов, тогда как весь ВНП на душу населения самой бедной страны мира, Эфиопии, составляет приблизительно 100 долларов в год.

По всей видимости, эту разницу одолеть не удастся. Развитые страны, входящие в Организацию Экономического Сотрудничества и Развития (ОЭСР) пришли к выводу, что страны с низким средним доходом (развивающиеся страны) не смогут сравняться с уровнем стран ОЭСР ни за 40, ни даже за 100 лет. Эта цель недостижима, и, наоборот, различия в имущественном состоянии стран увеличиваются. Было бы очень желательно, чтобы развивающиеся страны хотя бы приблизились к имущественному уровню развитых стран. Возможный путь к этому – в снижении разницы в доходах. Средний годовой доход в странах ОЭСР превышает 21000 долл./чел. Существуют исследования, показывающие, что страны с низким доходом могут достичь уровня дохода в 1500–2000 долларов на человека в год. При таком уровне дохода можно обеспечить около 80 % тех показателей, которые имеют жители стран с доходом 20000 долларов (продолжительность жизни, уровень питания, образования, особенности отдыха и пр.).

Развитые страны не только потребляют больше природных ресурсов, но они также в большей степени используют системы жизнеобеспечения Земли, сбрасывая в воду и воздух на душу населения значительно больше загрязнителей, чем развивающиеся страны.

Неравномерность уровней потребления является отражением как внутринационального, так и международного неравенства и зачастую служит причиной общественной и политической напряженности и конфликтов, то есть фактором глобальной экологической безопасности.

## III.4. Геоэкологическая роль технического прогресса

Уже было сказано, что вся сумма воздействий человека на экосферу делится на три основные группы факторов: население, потребление и технология. В предшествующих двух разделах обсуждались две первых группы факторов, тесно взаимосвязанных. В этой книге под выражением «технический прогресс» понимаются процессы совершенствования всего комплекса процессов переработки ресурсов и использования систем жизнеобеспечения Земли в промышленности, энергетике, сельском хозяйстве, строительстве и на транспорте. Техника, в этом понимании, оказывает серьезное воздейсвие на экосферу и отдельные ее компоненты и процессы.

Человечество перерабатывает примерно 100 гигатонн сырья в год, при этом перемещая в процессе его добычи 1000 гигатонн горной породы. При добыче и переработке сырья используется до 1000 гигатонн воды и энергия мощностью порядка 10 тераватт. Все эти процессы не характерны для природы, они антропогенны: сырье извлекается из невозобновимых ресурсов, не используемых природой; энергия производится благодаря сжиганию горючих ископаемых, не вовлеченных в современные естественные круговороты вещества; вода расходуется на индустриальные процессы, не имеющие аналогов в природе; процессы переработки сырья вызывают загрязнение окружающей среды; продукты технологии, произведенные человеком, выбрасываются на свалки через относительно короткое время после их производства, внося свой вклад в загрязнение экосферы. Человек использует всего лишь 2 % от массы извлекаемого им сырья (и то на относительно короткое время), а остальное идет в отвалы. По сути дела, человечество производит главным образом отходы, и во все увеличивающейся степени, в соответствии с обсуждавшимся ранее ростом производства.

Именно технический прогресс является тем механизмом,

который вызывает процессы деградации экосферы. Если объем совокупного мирового продукта вырос в этом столетии в более чем 20 раз, то и масса и объем загрязнений возросли не в меньшей степени. Технический прогресс XX века основан на сжигании горючих ископаемых (угля, нефти, газа), что приводит к катастрофическому загрязнению атмосферы Земли с многочисленными и серьезными последствиями, включая глобальное изменение климата.

Но именно технический прогресс привел к синтезу сотен тысяч ранее не существовавших в природе химических веществ, десятки тысяч которых широко используются в различных областях экономики без надлежащего испытания их токсикологических свойств. Многие из этих веществ высоко токсичны как для человека, так и для природных экосистем.

Но именно технический прогресс вызвал к жизни ядерное оружие и использование атомной энергии, без сколько-нибудь достаточного умения контролировать радиоактивные материалы, избегать атомных катастроф и управлять радиоактивным режимом территорий.

Очевидно, что человечеству необходимо в ближайшие десятилетия обеспечить плавный, но быстрый процесс перехода к новым, менее вредным и более управляемым технологиям, обеспечивающим если не хорошее, то хотя бы сносное существование всех людей на Земле.

Вместе с тем технический прогресс часто рассматривается как надежда, благодаря которой можно решить основные геоэкологические проблемы. В самом деле, многие ожидают от техники чуда.

Действительно, техника играла и будет продолжать играть ведущую роль в увеличивающемся обеспечении товарами и услугами все большего количества людей. И в самом деле, техника может решить (или помочь решить) многие экологические проблемы.

При этом проблемы экономии сырья, воды, энергии, материалов на единицу выпускаемой продукции чрезвычайно важны. В этом отношении достигнуты значительные успехи в странах Западной Европы, Японии и стран Юго-Восточной Азии. Меньше достижения в этой области у США, и еще меньшие – у России. Весьма значительны перспективы в области дальнейшей экономии сырья и энергии, вплоть до десятикратной по сравнению с нынешней.

Продолжают разрабатываться и внедряться новые технологические приемы, существенно сокращающие промышленные отходы. За малоотходными технологиями –

большое будущее. Не следует все же ожидать чуда и в этой области: чем меньше объем отходов, тем, во-первых, обычно выше их токсичность и, во-вторых, тем выше экономические затраты на единицу сбрасываемых отходов.

Имеется много примеров значительных достижений в промышленности и сельском хозяйстве вследствие разработки и внедрения новых технологий. Построены автомобили, потребляющие вдвое меньше горючего, чем основная масса современных машин. Достигнуты заметные успехи в использовании солнечной энергии. Разработаны и успешно внедряются новые, более экономичные и менее экологически вредные приемы орошения сельскохозяйственных культур. Значительны успехи в развитии биотехнологии для борьбы с загрязнением в сельском хозяйстве и других областях. Развиваются новые отрасли природоохранной промышленности, решающие специфические проблемы загрязнения. Информационные технологии проникают во все области деятельности, включая вопросы, касающиеся лучшего понимания экосферы и управления ею.

Из трех групп антропогенных факторов (население, потребление и технический прогресс), влияющих на состояние экосферы, последняя наиболее эластична. Через нее можно добиться относительно быстрых результатов в управлении сотоянием экосферы. Вместе с тем чисто инженерные решения проблем геоэкологии могут лишь облегчить экологический кризис, оттянуть катастрофическое развитие его отдельных проявлений, но они не в состоянии разрешить его. Главное направление находится все же не в сфере технологии, а в области сочетания факторов «население-потребление». Удачно сказал об этом один из современных американских исследователей: «Если единственный механизм для управления ростом населения – это голод и нищета, то конечным результатом любого инженерного достижения будет увеличение числа людей, живущих в нищете».

## III.5. Геоэкологические аспекты внешнего долга государств и «свободной торговли»

Серьезнейшие геоэкологические проблемы вытекают из глобальной ситуации с внешней задолженностью стран. В 1991 г. общая сумма долгов стран мира составила 1,5 триллиона долларов США. В том числе Бразилия, Мексика и Аргентина имели задолженность, соответственно равную 109, 98 и 56 миллиардов долларов. Это огромные суммы, в особенности, если их сравнить с экономической помощью развивающимся странам,

составлявшей в то время 55 млрд долларов в год. Даже с учетом капиталовложений частного сектора, общая сумма потока капитала в развивающиеся страны была около 130 млрд в год, или менее 9 % от задолженности. В Латинской Америке и Африке (без Средиземноморья) долги стран превышают половину их ВНП, и даже уплата процентов по долгам составляет 20–30 % экспорта этих стран. Для многих стран уплата по долгам начала превышать приток средств, так что больше средств уходило в развитые станы, чем поступало в виде экономической помощи в развивающиеся. В конце 1980-х гг. результирующая денежного потока была направлена в развитые страны и была равна примерно 50 млрд долларов в год.

Уплата внешнего долга и процентов по нему для большинства развивающихся стран осуществляется во многом за счет распродажи природных ресурсов и, соответственно, посредством потери их природного капитала как вследствие потери природных ресурсов, так и из-за ухудшения состояния окружающей среды в районах их добычи, транспортировки и переработки. К великому сожалению, основной источник валютных доходов нашей страны, в том числе и для уплаты процентов по внешним долгам, это также продажа минерального и биологического сырья за границу. Таким путем теряется наш природный капитал с сопутствующим ухудшением состояния природной среды.

В последние годы отмечается процесс либерализации мировой торговли, основанный на установлении свободного рынка товаров. Это очень сложный процесс, требующий внимательного изучения его глобальных экологических последствий. Можно сказать, однако, что он неизбежно вызывает ускоренную торговлю природными ресурсами по низким ценам, то есть, в конечном итоге, способствует ухудшению состояния экосферы.

## III.6. Богатство стран и доля природного капитала

Природные ресурсы – это только часть капитала, аккумулированного в каждой стране. В соответствии с разработками Всемирного Банка, существуют четыре вида капитала: производственный, или материально-финансовый (обычно рассматриваемый в экономических отчетах стран); природный (естественные богатства страны, обеспечивающие приток необходимого сырья и экологических услуг); человеческий (не только рабочая сила, но и вложения в образование, здравоохранение, питание и пр. каждого жителя); общественный

(социальная структура, этика и мораль, обеспечивающие устойчивость и развитие страны).

Очевидно, что устойчивое развитие любой страны предполагает в качестве цели сохранение (или приумножение) суммарного капитала как в общем объеме, так и, предпочтительнее, капитала на душу населения.

Всемирным Банком была сделана попытка оценить в сравнимых денежных показателях богатство каждой страны мира как в целом, так и по трем видам капитала – производственного, природного и человеческого. Несмотря на приблизительность оценок, результаты наводят на размышления. Основным богатством в большинстве стран мира оказался человеческий капитал, и только в странах – экспортерах сырья природный капитал оказался больше, чем человеческий и производственный (табл. 2).

Один из выводов этого исследования заключается в том, что для сохранения природных богатств любой страны необходимы также вложения в другие виды капитала, в особенности в людские ресурсы, то есть в образование, здравоохранение, повышение качества жизни и пр.

*Таблица 2*

**Структура богатства мира (по И. Серагельдину, 1995)**

| Тип страны | Доля мирового капитала, % | Производственный капитал, % | Природный капитал, % | Человеческий капитал, % | Итого в странах данного типа, % |
|---|---|---|---|---|---|
| Страны — экспортеры сырья | 5 | 20 | 44 | 36 | 100 |
| Другие развивающ. страны | 16 | 16 | 28 | 56 | 100 |
| Развитые страны | 79 | 16 | 17 | 67 | 100 |
| Всего | 100 | — | — | — | — |

Несмотря на приблизительность и спорность этих расчетов, они дают представление о том, из чего складывается богатство стран и какую роль в этой композиции играет природный капитал. Мы должны также помнить, что наряду с трудовыми затратами, природные ресурсы были важнейшим источником накапливаемого богатства стран, в том числе за счет зависимых или находившихся в зависимости стран. В табл. 3 содержатся соответствующие данные (на душу населения) для 13 стран: самой бедной (Эфиопия), десяти избранных нами крупных стран,

включая Россию, и двух самых богатых (Канада и Австралия).

*Таблица 3*

**Уровень богатства (бедности) и структура капитала некоторых стран мира (по И. Серагельдину, Всемирный Банк, 1995)**

| Страна и ее место по уровню бедности | Оценка богатства, в долларах США/чел. | Человеческий капитал, % | Производственный капитал, % | Природный капитал, % |
|---|---|---|---|---|
| 1. Эфиопия | 1400 | 40 | 21 | 39 |
| 12. Бангладеш | 3100 | 79 | 14 | 7 |
| 20. Индия | 4300 | 64 | 25 | 11 |
| 31. Китай | 6600 | 77 | 15 | 8 |
| 52. Индонезия | 12000 | 55 | 17 | 28 |
| 89. Украина | 30000 | 77 | 17 | 6 |
| 112. Бразилия | 47000 | 37 | 19 | 44 |
| 138. Россия | 98000 | 15 | 15 | 70 |
| 162. Ботсвана | 188000 | 17 | 2 | 81 |
| 171. Англия | 324000 | 83 | 14 | 3 |
| 181. США | 421000 | 59 | 16 | 25 |
| 191. Канада | 704000 | 22 | 9 | 69 |
| 192. Австралия | 835000 | 21 | 8 | 71 |
| Среднее для мира | 86000 | 64 | 16 | 20 |

Самыми богатыми странами (на душу населения) оказываются Австралия и Канада вследствие их огромных природных богатств *per capita* при высокопроизводительном и относительно немногочисленном населении. В десятке самых богатых стран мира, вслед за Австралией и Канадой, также располагаются (в убывающем порядке по степени богатства) Люксембург, Швейцария, Япония, Швеция, Исландия, Катар, Объединенные Арабские Эмираты и Дания. В этой группе разместились страны, богатые человеческим капиталом, природным капиталом или комбинацией всех трех видов капитала.

Эфиопия – самая бедная страна, но сразу следом за ней располагаются еще около десяти беднейших, в основном африканских стран: Непал, Бурунди, Малави, Уганда, Танзания, Вьетнам, Мозамбик, Сьерра-Леоне, Гвинея-Биссау, Руанда (в порядке возрастания величины суммарного капитала).

Россия оказалась на скромном месте по всем основным показателям. Относительное богатство России природным капиталом указывает также на весьма низкие показатели по

другим видам капитала. Данные, приведенные в табл. 2-Ш, указывают на ошибочность широко распространенного в нашей стране убеждения, что у нас много всего, в особенности природных ресурсов, и указывают на необходимость их более эффективного использования. Они говорят также об очень высокой приоритетности серьезных вложений в человеческий капитал.

Интересно также посмотреть на суммарную величину накопленного капитала (человеческого, производственного и природного) для различных стран мира, рассчитанного нами как произведение величины капитала на душу населения на численность населения страны (табл. 4).

*Таблица 4*

**Приблизительная оценка богатства наций**

| Страна | Капитал на душу населения, долл. США | Население, млн чел. | Суммарный национальный капитал, млрд долларов США |
|---|---|---|---|
| США | 421000 | 263 | 110700 |
| Япония | 565000 | 125 | 70600 |
| Германия | 399000 | 81 | 32300 |
| Канада | 704000 | 28 | 19700 |
| Австралия | 835000 | 18 | 15000 |
| Россия | 98000 | 150 | 14700 |
| Китай | 6600 | 1240 | 8180 |
| Бразилия | 47000 | 161 | 7570 |
| Индия | 4300 | 931 | 4000 |
| Индонезия | 12000 | 201 | 2410 |
| Нигерия | 4100 | 127 | 520 |
| Эфиопия | 1400 | 58 | 80 |

Из табл. 4 следует, что самая богатая страна мира (США) в 1400 раз богаче беднейшей страны (Эфиопия). Как уже отмечалось, цель ликвидировать такие различия недостижима. При этом разница между богатыми и бедными странами возрастает. Развивающиеся страны вынуждены существовать за счет ускоренной распродажи своих природных ресурсов, в то время как доля богатых стран в потреблении природных ресурсов и «услуг» экосферы, и так непропорционально большая, продолжает увеличиваться.

## III.7. Рост и развитие. Необходимость изменения стратегии

Система «Население – потребление» – важнейший фактор геоэкологического состояния мира и отдельных стран. Проблемы

населения и потребления взаимно связаны, а основные факторы зачастую взаимозаменяемы. Например, одинаковая степень воздействия на экосферу может быть при многочисленном населении и невысоком потреблении и, наоборот, при небольшой численности населения, но высоком уровне потребления. Поэтому часто возникающие споры о том, что важнее контролировать, население или потребление, имеют единственный здравый ответ: оба фактора, отдавая приоритет более значимому для данной страны. В развивающихся странах главный приоритет должен быть отдан регулированию численности населения, в развитых – снижению потребления ресурсов экосферы. И все же численность населения остается первичной проблемой, вызывающей потребности общества (удовлетворенные или нет).

Несомненно, что уровень потребления жителей развитых стран мог бы быть снижен без серьезного ущерба для качества их жизни, но это означало бы изменение системы жизненных ценностей людей. Уменьшить геоэкологическое влияние системы «Население – Потребление» посредством снижения уровня потребления жителями богатых стран без заметного снижения качества их жизни – чрезвычайно сложная задача, и стратегия ее решения пока совершенно не ясна. Подобные перемены очень трудно достижимы и в любом случае требуют значительного времени (масштаба нескольких поколений) для сознательного изменения философии жизни, то есть системы жизненных ценностей. По-видимому, успешное решение проблемы потребления в развитых странах требует другого уровня экологической этики и, следовательно, упорной и продолжительной работы по всестороннему воспитанию людей.

Повысить уровень потребления в развивающихся странах до современного уровня богатых стран невозможно, так как ресурсов и возможностей Земли для этого оказывается недостаточно. Около полувека тому назад Махатму Ганди, лидера Индии, становящейся в то время независимой от Англии, спросили, хотел ли бы он, чтобы Индия достигла уровня жизни Англии. Он ответил: «Чтобы достичь процветания, Британия забрала себе половину ресурсов нашей планеты. Сколько же планет потребуется для Индии?» В то же время очевидно, что жители развивающихся стран объективно нуждаются в повышении среднего душевого уровня потребления (что близко к повышению среднего уровня жизни).

Рост численности населения мира и сопутствующий ему опережающий количественный рост экономики (объемов промышленного производства, сельского хозяйства, транспорта и

пр.) за последние 2–3 столетия, и в особенности за последние полвека, привели к серьезнейшим неблагоприятным нарушениям состояния экосферы. Возникает вопрос, возможно ли разрешение конфликта между дальнейшим ростом экономики, что необходимо для обеспечения неизбежно возрастающего населения Земли (по крайней мере, на ближайшие полвека), и, одновременно, сохранение основных механизмов экосферы в пределах, которые обеспечивали бы ее гомеостазис, а если это возможно, то каким образом? Ясно, что абсолютно лучшего бесконфликтного решения с точки зрения и экономики, и экологии найти невозможно, и необходимо искать компромиссные стратегии.

Вследствие крайне высокой сложности и неопределенности задачи, в поисках компромиссных решений необходимо единство науки, экономики, этики и политики. Задача не под силу какой-либо одной стране и требует объединенных усилий всех наций.

Основной экономической стратегией человечества было и пока остается обеспечение роста экономики. При этом под ростом понимается увеличение объема производства, основанного на расширяющемся использовании систем и ресурсов экосферы. Очевидно, что рост экономики необходим для улучшения жизни населения развивающихся стран, но столь же очевидна избыточность потребления ресурсов экосферы развитыми странами.

Существует глубокое принципиальное различие между понятиями рост (growth) и развитие (development). Понятие «рост» означает увеличение размера системы вследствие внутреннего ее увеличения. Возрастающий валовый объем производимых металлов, машин, химических веществ, продуктов сельского хозяйства, перевозимых транспортом людей и грузов, выбрасываемых в окружающую среду отходов деятельности людей, и пр., – это все показатели роста. Традиционная экономика полагает, что чем такие показатели больше, тем состояние экономики лучше. Лишь по мере того как ресурсы экосферы становятся дефицитными, возникает осознание того, что валовый экономический рост будет неизбежно ограничен или сознательно, или стихийно. Пределы валового роста существуют, и с этой реальностью необходимо примириться.

Понятие «развитие» означает движение к лучшему, чем сейчас, состоянию системы. Развитие совсем не означает увеличения размеров системы, оно означает все более полную реализацию заложенных в системе возможностей. Развитие возможно и без количественного роста. Наша планета Земля развивалась по мере ее эволюции, но это не приводило к ее росту.

Имея в виду существование пределов валового роста, человечество должно изменить свою главную стратегию, ставя своей целью качественное развитие, а не валовый рост. Изменение стратегии неизбежно, или же Земля, в конечном итоге, станет непригодной для жизни ее же населения. Понятие устойчивого развития возникло как попытка найти выход из глобального геоэкологического кризиса.

# Часть II
# Глобальные изменения

# IV. Глобальные изменения и стратегии человечества

## IV.1. Переходный период и его особенности

Современное состояние мира за последние десятилетия заметно изменилось. Численность населения мира за последние 50 лет более чем удвоилась, а потребности людей увеличились в еще большей степени. Соответственно, ухудшилось состояние экосферы: увеличилось расходование невозобновимых природных ресурсов, истощение (снижение количества и ухудшение качества) возобновимых ресурсов, усилилась деградация систем жизнеобеспечения на Земле (системы биологической продуктивности, поглощения и переработки отходов и многие другие).

Экономика стран и мира в целом ориентирована на рост объема производства. Основной общепринятый показатель успеха любой страны мира – рост валового национального продукта (ВНП). При этом ВНП не включает такие геоэкологические показатели, как загрязнение среды, деградация природных систем жизнеобеспечения или ухудшение состояния природных ресурсов. Более того, экономические действия, направленные на использование ресурсов, такие как добыча полезных ископаемых, вылов рыбы или заготовка лесоматериалов, отражаются в величине ВНП как экономический рост, не сигнализируя в то же время о снижении природного капитала. Так парадигма экономического роста фактически поощряет деградацию природных ресурсов. Если, согласно демографическим прогнозам, численность населения к концу следующих 50 лет снова удвоится, то экономика, в соответствии с современной стратегией ведения хозяйства, должна увеличиться в 5–7 раз.

Имеются серьезные основания полагать, что это невозможно вследствие ограниченности ресурсов и систем экосферы и конечных размеров Земли. Из противоречия между постоянно растущим воздействием общества на экосферу и ограниченными размерами Земли и ее ресурсов вытекает неизбежность глобального геоэкологического кризиса. Часть специалистов считает, что кризис уже наступил, потому что имеются многочисленные свидетельства нарушения гомеостазиса экосферы. Существует также много примеров глубоких изменений геосфер Земли и ее ландшафтов. Другие специалисты полагают, что человечество найдет пути не допустить кризиса, хотя и

согласны, что причины для кризиса объективно существуют.

Человек значительно, и по большей части бессознательно, преобразовал Землю в результате своей хозяйственной деятельности. В особенности большие изменения произошли в последние десятилетия и продолжаются сейчас. Эти изменения взаимосвязаны и охватывают как природную, так и общественную сферы.

Наблюдаемые *глобальные изменения* есть отражение перехода за очень короткий период продолжительностью около 100–200 лет от сравнительно мало населенной и слабо измененной человеком Земли к перенаселенной, антропогенно трансформированной экосфере. Человечество уже не может продолжать ту же стратегию бесконтрольного и бездумного использования экосферы, поскольку существуют пределы ее гомеостазиса. В течение переходного периода речь идет о выживании человеческого общества: либо оно научится жить по-новому, в пределах возможностей, отпускаемых человечеству экосферой, либо оно будет деградировать, вплоть до полного распада. Для своего выживания человечество должно осуществить несколько взаимосвязанных переходных процессов общемирового значения.

• *Демографический переход* к стабильному населению мира на относительно невысоком уровне. По-видимому, этот уровень не должен быть выше 1–2 млрд чел. Каирская Конференция ООН по народонаселению (1994 г.) согласилась, после долгих дебатов, на уровень 7,8 млрд чел. Эта последняя цифра фактически представляет собой прогноз численности населения мира, основанный на современной численности и возрастном распределении при условии, что далее среднее число детей в семьях останется на уровне простого замещения, то есть порядка 2,1–2,2. Если в дальнейшем среднее число детей в семье (коэффициент фертильности) будет меньше двух, то начнется снижение численности населения мира. Планомерный и мирный переход к численности населения до 2 млрд чел. потребует согласованных действий всех стран мира в течение нескольких поколений, если начать его при жизни этого поколения.

• *Экономический переход* к такому типу экономики, который бы принимал во внимание экологические ценности, в настоящее время не учитываемые рынком. К ним относятся: необходимость выполнения экономических действий в соответствии с законами природы; экологически справедливые цены, включающие исчисляемые и неисчисляемые экологические ценности; налоги на загрязнение окружающей среды и использование природных ресурсов и систем жизнеобеспечения; использование только

прироста возобновимых природных ресурсов и др. Иными словами, коренной задачей экономики должно стать улучшение качества жизни людей, достигаемое без дальнейшего роста объема экономики. За переходный период главная стратегия экономики должна измениться ***от роста к развитию.***

*Технологический переход* от ресурсопоглощающих и загрязняющих технологий к экологически благоприятным. Объем используемых ресурсов и сбросов отходов в окружающую среду тесно связан с численностью населения и его потреблением, так что стратегия перехода должна быть междисциплинарной.

• *Этический переход* к более высокому уровню сознательности и экологической этики.

• *Социальный переход* к более справедливому распределению экологических и экономических выгод внутри и между нациями.

• *Институциональный переход* к другим формам управления на национальном и международном уровне, обеспечивающем ***экологическую безопасность.***

Эти компоненты стратегии переходного периода не только взаимосвязаны, но их осуществление является необходимым условием для преодоления глобального геоэкологического кризиса, наряду с другими стратегиями, необходимость которых может проявиться позднее.

Необходимость общемировых, глобальных переходных процессов будет усиливаться по мере увеличения антропогенной трансформации экосферы. Также усилится и взаимозависимость между странами. Наблюдаемая в настоящее время глобализация экономики также приведет к еще большей глобализации проблем геоэкологии.

Анализируя особенности переходного периода, можно выделить следующие основные проблемы, вызывающие экологическую, социальную и политическую напряженность:

• усиление антропогенной нагрузки на основные системы экосферы;

• дальнейшее снижение доступности природных ресурсов и усложнение проблем их использования;

• рост населения развивающихся стран и его потребностей, происходящий на фоне увеличивающейся разницы как в уровне жизни развитых и развивающихся стран, так и в фактическом потреблении ими систем жизнеобеспечения экосферы;

• опережающий рост населения городов, не сопровождающийся соответствующим увеличением числа рабочих мест, при ухудшающемся состоянии качества жизни людей в городах.

Наряду с глобальным уровнем проблем геоэкологии, многие

сложные, междисциплинарные проблемы возникают на региональном уровне. К ним можно отнести, например, радиоактивное загрязнение зоны Чернобыля, деградацию Аральского моря и его бассейна, ухудшение состояния лесов юго-восточной Азии, деградацию Сахеля, экологическое состояние территории добычи и транспортировки нефти и газа Западной Сибири и пр. Список таких региональных проблем чрезвычайно велик и постоянно расширяется.

Стратегия выхода из глобального геоэкологического кризиса и его региональных проявлений требует немедленной разработки и осуществления, с тем чтобы можно было в определенной мере успеть повлиять на происходящие переходные процессы, а не быть их пассивным свидетелем.

## IV.2. Несущая способность (потенциальная емкость) территории

Можно ли определить, какова потенциальная емкость мира или отдельных его частей? Иными словами, сколько людей при достаточно удовлетворительном уровне их жизни может быть размещено в мире?

В понятии *потенциальная емкость территории,* или, что то же, ее *несущая способность* (Carrying Capacity), можно усмотреть аналогию с ватерлинией корабля. Уровень воды не может быть выше этой линии, нарисованной вдоль боков судна. В таком случае корабль перегружен, и даже если груз положен правильно, судно потонет.

Несущая способность (потенциальная емкость) любой экологической или природно-ресурсной системы – это количество особей организмов какого-либо вида, которые могут устойчиво существовать неопределенно долгое время. Этот показатель может быть выражен, например, числом особей на квадратный километр. В начале книги мы приводили пример луга с коровами. Его несущая способность – это такое максимальное количество коров, при котором продуктивность луга останется постоянной неопределенно долгое время. Мы получили однозначный ответ на относительно простой вопрос.

Вопросы, касающиеся людей и их сообществ, несравненно сложнее, но и в этом случае на отдельные вопросы можно получить однозначные ответы. Например, при определении оптимальной плотности колонистов, вновь прибывающих в Бразильскую Амазонию из более населенных районов Бразилии, был установлен прожиточный минимум на человека, выраженный в уровне минимального месячного питания в виде общего

количества калорий и белкового питания, а также некоторого количества свободных денег. Из этого расчета и исходя из степени плодородия почвы определялся оптимальный размер земельного участка на душу населения (Ф. Фернсайд). Если фактически плотность колонистов оказывается слишком высокой, то участок не в состоянии прокормить осваивающую его семью, то есть рассчитанная потенциальная емкость территории оказывается завышенной.

При подсечной системе земледелия группа людей выжигает участок леса и использует его как поле до то тех пор, пока оно в состоянии прокормить эту группу. После этого они перемещаются на следующий участок, где вся операция повторяется. Через определенное число лет (порядка 20–50 лет) группа возвращается на исходное место, где за это время восстановился взрослый лес, и цикл повторяется. Показателем потенциальной емкости территории является в этом случае достаточно устойчивая продолжительность цикла в годах. При увеличении антропогенной нагрузки люди вынуждены ускорять свое перемещение с места на место, весь цикл становится все короче, а антропогенная нагрузка все более превышает несущую способность территории.

В более сложных социальных ситуациях потенциальная емкость может быть определена как некоторое, значительно изменяющееся число людей, населяющих данную территорию, которые могут, на обозримое будущее, сохранять данный уровень жизни, используя имеющиеся природные ресурсы, свои трудовые навыки, общественные институты и обычаи.

Показатель потенциальной емкости может значительно меняться в каждой стране в зависимости от многих причин, например, от повышения урожайности без снижения потенциального плодородия почв, от различий в требованиях к качеству жизни (вспомним, что уровень потребления одного жителя Швейцарии соответствует уровню потребления сорока жителей Сомали), от соотношения рыночной экономики и экономики натуробмена, от изменений государственной политики, от внедряемых технологических открытий и многих других условий. Соотношение между антропогенным давлением и естественной потенциальной емкостью страны подвижно, оно может меняться в зависимости от изменений и того, и другого фактора.

Голландия, например, импортирует значительное количество корнеплодов (кассава, ямс) из тропических стран для корма скота. В результате фактическая потенциальная емкость Голландии заметно превышает ее естественную несущую

способность за счет ввоза как бы потенциальной емкости территории из стран – экспортеров корнеплодов. Образующийся в избытке навоз превышает потребности сельского хозяйства страны в органических удобрениях. Он частично вывозится в соседние страны, то есть фактически несущая способность Голландии еще более увеличивается по сравнению с ее фактической площадью. Помимо корма для скота, Голландия импортирует также продовольствие и древесину. Если учесть суммарный объем импорта, то окажется, что фактически используемая зарубежная территория в 5,6 раза превышает площадь самих Нидерландов. Если, с другой стороны, вычесть площадь, используемую в Нидерландах для производства экспортируемых товаров биологического происхождения, то и в этом случае оказывается, что страна использует за своими пределами территорию, превышающую в 2,2 раза общую площадь Нидерландов.

Многие страны мира значительно перенаселены, то есть численность населения превышает имеющиеся ресурсы. Иными словами, антропогенное давление превышает естественную несущую способность территории. Кения в начала этого века имела население около 2 млн чел. К началу независимости (1963 г.) население страны составляло 9 млн чел. Прирост численности достигал 3,5 % в год (то есть численность удваивалась за 20 лет). Таким образом, к концу XX в. численность населения превысила 30 миллионов. При этом основные природные ресурсы страны (в основном земельные) за столетие практически не увеличились, и нет сомнения, что население Кении намного превышает ее несущую способность. Соответственно, увеличиваются экологические и социальные проблемы (например, сокращение лесов, ухудшение пастбищ, деградация прибрежной зоны Индийского океана, рост социальной напряженности и преступности, межплеменные конфликты и пр.).

Численность населения Бангладеш составляет 120 млн чел. при приросте 2,5 млн чел. в год. При современных темпах роста население удвоится через 30 лет, хотя страна практически не имеет территории для дальнейшего заселения. Часть людей селится на низких островах внешнего края дельты Ганга и Брамапутры, подвергающихся частым наводнениям с многочисленными человеческими жертвами. Так природа начинает регулировать численность населения, поскольку сменяющиеся правительства этой страны неэффективны в решении важнейшей долгосрочной проблемы страны – ее перенаселенности, или превышении потенциальной емкости ее

территории.

Страдания и гибель сотен тысяч жителей малых стран Африки – Руанды и Бурунди – также результат перенаселенности. О превышении антропогенного давления над потенциальной емкостью территории было давно известно, но ни правительства этих двух стран, ни правительства как соседних, так и далеких богатых стран, ни ООН не уделяли этому серьезного внимания. В этих странах превышение антропогенного давления над естественной потенциальной емкостью выразилось в форме кровопролитных конфликтов между двумя основными племенами, хуту и тутси. Таким образом, внешние проявления перенаселенности могут принимать различные формы, в зависимости от национальной обстановки.

Приблизительные оценки соотношения антропогенного давления и естественной потенциальной емкости (несущей способности) территории были выполнены также и для России (Лосев и др., 1993). Площадь страны составляет 17,1 млн кв. км при населении, по переписи 1989 г., равном 148 млн чел., что составляет 11,6 га/чел. В качестве показателя геоэкологического потенциала был принят объем первичной биологической продукции с единицы территории за год. В среднем для территории страны он равен приблизительно 20 т/га в год. Тогда на одного жителя приходится 232 т первичной биологической продукции в год (20 т/га $\times$ 11,6 га $=$ 232 т).

Существует статистически проверенное правило, гласящее, что если в экосистеме при переходе с одного трофического уровня на другой изменения в потреблении первичной продукции находятся в пределах около 10 %, то система существенно не изменяется и остается устойчивой. Следовательно, уровень устойчивого потребления в среднем для России не может превышать 23,2 т на человека в год. При средней для России первичной биологической продуктивности это эквивалентно 1,16 га/чел.

Посмотрим, с другой стороны, на реальное потребление, то есть на те типы антропогенного использования земель России, где первичная продукция по большей части расходуется человеком.

Сельскохозяйственные угодья **223 млн га**

(пашня 133 млн га, пастбища 65 млн га, сенокосы 25 млн га)

Свалки (промышленные и коммунальные) **15 млн га**

Водохранилища **5,5 млн га**

Города, промышленные предприятия, дороги и пр. **3,5 млн га**

Другие техногенные причины (отвалы, пожары и пр.) **2,5 млн га**

**Итого 249,5 млн га**

Таким образом, преобладающая часть первичной биологической продукции на территории России расходуется человеком на площади около 250 млн га, что эквивалентно 1,7 га/чел. Кроме того, первичная продукция снижается по сравнению с натуральной на 0,3 га/чел. вследствие рубок леса и загрязнения среды. В результате индекс фактического потребления оценивается величиной 2,0 га/чел., или 40 т/год. Это выше в 1,7 раза, чем величина экологически устойчивого потребления (2,0 га/чел.: 1,16 га/чел. = 1,7).

Итак, даже для казалось бы редконаселенной России величина потенциальной емкости территории оказалась в среднем меньше, чем антропогенное давление. Ясно, что для густонаселенных районов это превышение намного больше, что указывает на серьезное экологическое неблагополучие этих территорий.

Основные особенности понятия несущей способности (потенциальной емкости) территории сводятся к следующему:

– в применении к человеческому обществу понятие несущей способности в высшей степени междисциплинарно;

– оно имеет динамический характер, то есть изменяется во времени. При этом может изменяться как антропогенное давление, так и потенциальная емкость, взаимно влияя друг на друга;

– несущая способность обычно определяется лимитирующим фактором в исследуемой системе (в простом случае почвенного плодородия, например, содержанием доступного для растений азота в почве);

– потенциальная емкость территории может быть увеличена или уменьшена деятельностью человека. Один из путей к ее повышению – эффективное использование ресурсов (например, произвести больше при меньшем использовании ресурсов);

– восстановление деградировавшей несущей способности намного сложнее и дороже, чем ее предотвращение.

Несмотря на невозможность получения однозначного ответа при оценке естественной потенциальной емкости территории по сравнению с антропогенным давлением, концепция несущей

способности является полезным инструментом для оценки экологического состояния территорий и разработки национальных стратегий развития.

Еще более сложен вопрос оценки соотношения антропогенного давления и несущей способности для мира в целом. Во многом ответ зависит от желаемого уровня благосостояния людей как в среднем для мира, так и по отдельным регионам или странам. Ясно, что ресурсов Земли уже сейчас недостаточно для того, чтобы материальный уровень жизни всех людей соответствовал бы современному стандарту развитых стран, и с этой точки зрения антропогенное давление уже превысило потенциальную емкость экосферы.

С другой стороны, для обеспечения минимально низкого уровня жизни (чтобы едва выжить) несущая способность Земли еще не достигнута. Существует, разумеется, много промежуточных вариантов между этими двумя крайними ситуациями.

Предельная естественная потенциальная емкость экосферы будет определяться, по-видимому, не комплексом факторов, а скорее одним-двумя лимитирующими, причем сейчас невозможно сказать, какие из факторов предопределят возможную деградацию экосферы, – дефицит водных ресурсов, продовольствия, распад озонового слоя и т. д. или новый, пока еще недостаточно проявившийся фактор. Некоторое время тому назад таким лимитирующим фактором казалось ожидаемое истощение минеральных ресурсов (нефти, некоторых металлов и пр.), затем главной проблемой казалась невозможность прокормить растущее население мира, затем внимание привлекли проблемы поглощения отходов деятельности человека (отходы энергетики, размещение свалок и мест хранения токсичных отходов). Сейчас на первый план выходят проблемы нарушения структуры и режима экосферы (нарушения в системе продукции-деструкции органического вещества, усиление парникового эффекта, нарушение биогеохимических циклов и пр.). При этом ни один из упомянутых вопросов не снят, так что степень сложности проблем экосферы постоянно увеличивается.

## IV.3. Элементы стратегии выживания человечества

Мы становимся свидетелями того, как непрерывно растущие размеры глобальной экономики начинают превосходить ресурсные, восстановительные и ассимиляционные возможности экосферы. Воздействие на экосферу идет через три основные группы социально-экономических факторов (население,

потребление, технический прогресс), обсуждавшихся в предшествующей главе. Если мир оставить без изменений стратегического характера, то экономика, следуя задаче своего количественного роста, будет продолжать во все усиливающейся степени разрушать основные свойства экосферы, такие как способность воспроизводить возобновимые ресурсы, способность восстанавливать исходное состояние природы, способность поглощать и перерабатывать загрязнения.

Необходима стратегия выхода из глобального геоэкологического кризиса, которую можно назвать *стратегией выживания человечества.* Элементы этой стратегии обсуждаются в последнее десятилетие на многочисленных совещаниях и в не менее многочисленных публикациях большого числа заинтересованных лиц (представителей естественных и общественных наук, философов, политиков, общественных деятелей и пр.). Выдвигается много противоречивых или малообоснованных предложений и рекомендаций. Однако вырисовываются и основные черты необходимой стратегии. Главные ее компоненты следующие.

1. Производить больше, используя меньше ресурсов и энергии на единицу продукции посредством повышения эффективности производства, сохранения возобновимых ресурсов, технологических нововведений, утилизации отходов и пр.

Технический прогресс, как мы знаем, это наиболее гибкий и быстрый механизм управления состоянием экосферы. Наибольших успехов в области снижения воздействий технологии на состояние экосферы добились развитые страны, в особенности Япония, производящая на 81 % больше продукции, чем в 1973 г., при таком же количестве используемой энергии. Вуппертальский Институт (Wuppertal Institut) в Германии предлагает в качестве долгосрочной цели десятикратное увеличение производства при сохранении современного уровня использования ресурсов. Производимый дополнительно продукт следует, главным образом, направить на повышение уровня жизни в развивающихся странах.

2. Сокращать, а затем и остановить рост населения. Для этого необходимо, чтобы развивающиеся страны снизили прирост своего населения до уровня развитых стран (не более 0,5 % в год или не более 2,0–2,1 детей в каждой семье).

3. В слоях общества, имеющих высокие доходы, преимущественно в развитых странах, сокращать также и потребление.

Херман Дейли (США), один из лидеров нового научного

направления – экологической экономики, предлагает (1996 г.) согласиться с введением предельного максимального и минимального дохода. Согласно Дейли, минимум дохода должен быть определен исходя из разумных потребностей в питании, одежде, жилище и удовлетворении основных нужд в образовании и медицинской помощи. Максимум должен быть установлен как показатель, кратный минимальному: Дейли предлагает коэффициент равный 10 или 20. Эта десяти-двадцатикратная разница в доходах предполагает также и вознаграждение за интеллектуальные или профессиональные способности и достижения, так же как и за инициативу и предприимчивость. Те, кто ощущают необходимость в еще большем доходе, вероятно, нуждаются не в деньгах, а в более высокой общественной оценке их и их деятельности. Но в этом случае чрезмерное, на показ, потребление, как это случается сейчас, все же не является показателем успеха.

4. Обеспечить перераспределение жизненных благ (включая экологические услуги) между теми, кто потребляет слишком мало, и теми, кто потребляет слишком много.

В мире существует 358 миллиардеров (1997 г.), совокупное богатство которых равно всему имуществу наиболее бедных 45 % населения мира. Иными словами, богатство 358 человек равно богатству 2,5 миллиардов людей. Такое распределение ненормально, и оно отрицательно влияет на состояние экосферы. В этой связи Индира Ганди сказала, что бедность – это наихудшая форма загрязнения окружающей среды.

Однако в этом элементе стратегии заложена опасность осуществления политики, от которой наша страна ушла после 70 лет испытаний, сопровождавшихся десятками миллионов погубленных жизней. И сейчас еще Россия полностью не избавилась от своего тяжелого наследия.

Помимо внутринационального имущественного неравенства существует и увеличивается разрыв между развивающимися и развитыми странами. Соответственно, и приоритетные стратегии этих двух групп стран различаются.

5. Перейти от современной стратегии экономики, в которой достижения оцениваются по показателям количественного экономического роста (например, по величине валового национального продукта), к стратегии развития по показателям, характеризующим изменения *качества жизни* людей.

В последнем случае масштабы экономики должны выдерживаться в соответствии с восстановительной и ассимилятивной способностью глобальных систем жизнеобеспечения. В то же время следует признать для

развивающихся стран право и необходимость следовать курсу на увеличение производства, то есть на продолжение количественного экономического роста, хотя понятно, что это приведет к ухудшению состояния экосферы.

Каждый из перечисленных пунктов стратегии на первый взгляд не находится в соответствии с установившимся порядком вещей и даже противоречит здравому смыслу. Требуются большие усилия для того, чтобы понять необходимость столь глубоких перемен, и гораздо большие усилия для их осуществления. Для правительств всех стран мира необходимо понимание того, что эти перемены нужны всему человечеству, что в ситуации неконтролируемого глобального геоэкологического кризиса победивших не будет, будут только побежденные.

## IV.4. Понятие устойчивого развития

Исследуя стратегию взаимоотношений между окружающей средой и развитием, Комиссия Брунтланд ввела в широкое употребление термин *«устойчивое развитие».* Этот термин был известен и ранее, но использовался только специалистами. По определению Комиссиии, «устойчивое развитие – это такое развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности.»

Это весьма емкое определение очень сложного и комплексного процесса включает в себя несколько понятий. Это прежде всего понятие, касающееся интересов нескольких поколений и необходимости удовлетворения их нужд в связи с деятельностью текущего поколения. Это также понятие потребностей и их удовлетворения, при возникающем сразу же вопросе, как установить потребности.

В определении устойчивого развития, данном Комиссией Брунтланд, не отмечаются различия между принципиально разными понятиями развития и роста. В то время как развитие должно продолжаться неопределенно долгое время для всех народов и стран мира, валовый рост ограничен потенциальной емкостью экосферы, или же ее способностью к ассимиляции и регенерации. Одним словом, определение не вполне совершенно и вызывает значительные трудности в использовании.

Несмотря на то что определение устойчивого развития, данное Комиссией Брунтланд, фактически принято странами-членами ООН и неотложность перехода к стратегии устойчивого развития также признана на межгосударственном уровне, правительства, организации и специалисты находятся перед все

еще неясными вопросами: что такое устойчивость, и что оно означает для страны, ее региона или сектора экономики, и каковы должны быть соответствующие стратегии перехода?

В связи с трудностями определения понятия устойчивого развития, возникло и продолжает возникать много других определений. Кратчайшее, но очень емкое определение предлагает Х. Дейли (1990): «Устойчивое развитие – это развитие без роста». Однако это определение не подчеркивает необходимость повышения уровня жизни населения развивающихся стран с соответствующим экономическим ростом. Другое определение, данное Дейли (1992 г.), следующее: «Социально устойчивое развитие, при котором валовый экономический рост не должен выходить за пределы несущей способности систем жизнеобеспечения». Соответственно, состояние неустойчивости развития связано с превышением валового экономического роста над потенциальными возможностями экосферы.

В совместном программном документе Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП), Всемирного союза охраны природы (МСОП) и Всемирного Фонда охраны природы (ВВФ), называемом «В заботе о Земле. Стратегия устойчивости жизни» (1991 г.), приводится следующее определение: «Устойчивое развитие – это такое улучшение качества жизни людей, которое сохраняет потенциальную емкость экологических систем, обеспечивающих жизнь».

В соответствии с этим документом, принципы устойчивого развития заключаются в следующем (по «Caring for the Earth», с дополнениями автора).

1. Воздействие человека на экосферу не должно превышать ее потенциальную емкость.

2. Сохранение возобновимых ресурсов:

а) сохранение основных процессов экосферы (биогеохимических циклов, гидрологического цикла, климатической системы, процессов почвообразования и др.);

б) сохранение биологического разнообразия;

в) использование возобновимых ресурсов в пределах их прироста.

3. Расходование невозобновимых ресурсов, не превышающее скорость создания их заменителей, с последующим прекращением использования невозобновимых ресурсов.

4. Справедливое распределение выгод и затрат на природопользование как внутри стран, так и между странами.

5. Внедрение более эффективных технологий в промышленности, сельском хозяйстве, энергетике и пр.

6. Использование экономических инструментов, учитывающих экологические ценности, часто не выражаемые количественно.

7. Совершенствование управления природопользованием:

а) развитие соответствующей системы законодательства;

б) долгосрочное (перспективное) планирование, интегрирующее вопросы экологии;

в) следование принципу «предвидеть и предотвращать», а не «реагировать и исправлять». В соответствии с этим, введение государственной системы экологической экспертизы (с обязательным участием общественности), включающей оценку воздействия проектов на окружающую среду;

г) очень высокое положение в системе государственной власти и столь же значительные возможности организации (министерства, ведомства), отвечающей за вопросы экологии, и лица, ее возглавляющего.

8. Развитие морально-этических факторов и принципов:

а) формирование этики устойчивого развития;

б) совершенствование экологического образования на всех уровнях;

в) укрепление традиций общественного экологического самосознания.

Брунтланд и ее коллеги по Комиссии полагали, что для того чтобы удовлетворить потребности населения мира и придти к состоянию устойчивого развития, необходим рост объема экономики в 5—10 раз за ближайшие 50 лет, в течение которых численность населения мира удвоится. Сейчас ясно, что такой рост экономики недостижим вследствие ограниченных возможностей ресурсов экосферы. Необходимо искать выход из критического положения. Очевидно, что стратегия устойчивого развития несовершенна, но в то же время это наиболее реалистичное из того, чем располагает мир, и потому может рассматриваться на этом этапе как основа стратегии выживания.

Выше уже отмечалось, что весь капитал, которым обладает человечество, состоит из четырех основных видов: а) производственного (материально-финансового), б) природного (естественного), в)человеческого и г)общественного (социального). Очевидно, что условием устойчивого развития является достижение устойчивости как всем общим (суммарным) капиталом, так и каждым из видов капитала в отдельности.

Материально-финансовый (или производственный) капитал – это капитал в обычном, широко принятом смысле слова. Условие его устойчивости давно известно и является основным деловым правилом: надо жить в соответствии с доходом, не расходуя

основной капитал. Определение дохода – количество средств, которое можно израсходовать за определенное время, и быть столь же богатым – можно рассматривать как определение экономической устойчивости. Устойчивость трех остальных видов капитала не столь ясна и потому не столь легко определима.

*Экологическая устойчивость – это динамическое сохранение природного (естественного) капитала.* При этом обе фундаментальные функции экосферы – как *источника* ресурсов и как *поглотителя* загрязнений – должны сохраняться неопределенно долгое время (Р. Гудланд, 1995 г.). Экологическая устойчивость может рассматриваться как набор ограничений, накладываемых на экономическую подсистему – на использование невозобновимых и возобновимых ресурсов и на сохранение ассимилятивной способности экосферы и ее частей поглощать и перерабатывать загрязнения и отходы.

Более детально особенности экологической устойчивости, по Р. Гудланду (1995 г.), выглядят следующим образом.

**1. Правило поглотителя загрязнений.**

Загрязнения, которые будут возникать вследствие деятельности рассматриваемого проекта или мероприятия, должны оставаться в пределах экологической ассимилирующей способности данной территории и не приводить к деградации в будущем как ее поглотительной способности, так и других важных экологических свойств.

**2. Правило источника ресурсов.**

а) Величина отбираемого человеком прироста возобновимых ресурсов должна находиться в пределах потенциала природных систем регенерировать эти ресурсы.

б) Скорость расходования невозобновимых ресурсов должна быть ниже скорости образования их возобновимых заменителей, создаваемых человеком. Часть дохода, получаемого человеком от безвозвратного использования невозобновимых ресурсов, должна направляться на исследования путей получения устойчивых заменителей.

**3. Операционные принципы.**

а) Масштабы экономической подсистемы, определяемые соотношением:

В = Н × П × Т (численность Населения × Потребление на душу населения × Технический прогресс), должны ограничиваться потенциальной емкостью рассматриваемой территории и потому быть устойчивыми.

б) Технический прогресс должен осуществляться посредством роста эффективности производства, а не вследствие увеличения валового объема операций.

в) Возобновимые ресурсы должны использоваться таким образом, чтобы получать оптимальный доход от устойчивого прироста возобновимых ресурсов.

Эти весьма прагматичные правила постепенно находят свое применение.

Р. Гудланд подчеркивает, что его определение экологической устойчивости основано на концепциях естественных наук и подчиняется законам природы.

Стратегии достижения экологической устойчивости должны быть различными для разных стран. Несмотря на то что правила и принципы, изложенные выше, действуют везде, стратегии могут быть различными из-за разной приоритетности правил. Например, некоторые страны должны уделить больше внимания снижению численности населения по сравнению с их потенциальной емкостью (значительная часть развивающихся стран), другие страны предпочтительно сконцентрируются на балансе между величиной собираемого прироста возобновимых ресурсов и регенеративной способностью экосистем (страны – экспотеры леса, рыбы, тропических сельскохозяйственных культур и пр.). Некоторые страны должны отдать приоритет борьбе с загрязнением среды (страны Центральной Европы и бывшего СССР), а богатые страны могли бы уделить основное внимание снижению потребления как ресурсов, так и систем жизнеобеспечения.

Насколько неотложна необходимость внедрения состояния устойчивого развития? Когда Г. Х. Брунтланд спросили, какое слово, по ее мнению, является главным в ее отчете, она ответила: **«Now!» (Сейчас!)**. Неотложность очевидна: каждый год к населению мира добавляется около 100 млн чел. Каждый год увеличивается потребление ресурсов экосферы, невозвратимо расходуемых или настолько повреждаемых, что их регенерация идет с малой скоростью, если вообще возможна, то есть природный капитал уменьшается. Экологические факторы уже ограничивают экономическое развитие. Рыболовство ограничено не дефицитом флота или другими техническими средствами, а ресурсами рыбы. Китобойный флот мира встал навсегда на прикол вследствие уничтожения промышленных запасов китов. Плодородие почв снижается под влиянием растущих технологических воздействий. Безотлагательность устойчивого развития вытекает также из того факта, что природный капитал в большинстве случаев не может быть заменен другими видами капитала.

Понятие устойчивого развития и стратегия, на нем основанная, нуждаются в практической разработке, прежде всего,

на национальном уровне. Многие страны мира приняли стратегию устойчивого развития как свою программу на многолетнюю перспективу. Однако, принятые стратегии носят весьма общий и теоретический характер, конкретные действия по осуществлению программы в большинстве случаев не сформулированы, и даже в отношении стран, располагающих всеми благоприятными условиями для разработки и осуществления программы устойчивого развития, пока нельзя сказать, что ими достигнуты заметные успехи. Еще более сложна для конкретной разработки и осуществления всемирная программа устойчивого развития. Переходные процессы, необходимые для устойчивого развития мира, обсуждались в разделе IV.2, но конкретные стратегии по решению этих сложнейших вопросов нуждаются в детальной, конкретной и в то же время срочной проработке.

Р. Гудланд, говоря о неотложности изменения стратегии, пишет, что пути, ведущие к экологической устойчивости, различны для каждой страны или сектора экономики, но главная цель остается: обеспечить в течение менее чем двух поколений такое состояние мира, чтобы 10 миллиардов человек были удовлетворительным образом накормлены и размещены под крышей и чтобы при этом не пострадала окружающая среда. Это монументальная задача для человечества.

Не менее сложно и внедрение идеологии и этики устойчивого развития в сознание каждого гражданина мира. Это необходимый, но долгий и трудный процесс. Эта задача, наряду с задачей стабилизации численности населения мира на уровне порядка 2 млрд чел., потребует согласованных усилий в течение нескольких поколений.

Законы и гипотезы устойчивого развития были также предложены А.А. Бартлеттом. Поразмышлять над этими зачастую спорными выводами предоставляется читателям. Одну из гипотез все же следует повторить:

*«К тому времени, когда перенаселенность и дефицит ресурсов станут очевидны для большинства людей, несущая способность экосферы уже будет превышена. И тогда будет слишком поздно думать об устойчивом развитии».*

**Законы устойчивого развития:**

1. Ни рост численности населения, ни увеличение скорости потребления ресурсов не могут быть устойчивыми.

2. Чем больше население и чем выше скорость потребления им ресурсов, тем труднее привести

общество к состоянию устойчивого развития.

3. Время реакции населения на изменения его прироста равно продолжительности жизни одного человека от окончания детского возраста до конца жизни, то есть около 50 лет.

4. Средний уровень жизни населения находится в обратной зависимости от численности населения, которое может устойчиво существовать на данной территории (от ее потенциальной емкости).

5. Для достижения устойчивого и желаемого уровня жизни необходимо, чтобы численность населения была меньше или равна потенциальной емкости территории.

6. Выгоды от роста численности населения и увеличения потребления ресурсов достаются немногим, затраты же ложатся на плечи всего общества (трагедия всеобщего достояния).

7. Увеличение скорости потребления невозобновимого ресурса вызывает резкое снижение времени существования остающейся доли ресурса.

8. Когда затрачиваются большие усилия на повышение эффективности использования ресурса, получаемая выгода сравнима с дополнительной потребностью в ресурсе, возникающей вследствие прироста населения.

9. Когда скорость загрязнения превосходит самоочищающую способность окружающей среды, проще продолжать загрязнять, чем очищать среду.

10. Люди всегда будут в зависимости от сельского хозяйства, так что почва и другие возобновимые ресурсы будут всегда необходимы.

**Гипотезы устойчивого развития:**

1. Судя по среднему мировому уровню жизни 1994 года, численность населения Земли превосходит ее потенциальную емкость.

2. Рост численности населения – это самая большая и самая коварная угроза демократии.

3. Стоимость программ сокращения роста численности населения мала по сравнению со стоимостью самого роста численности населения.

4. Время, необходимое для планомерного перехода какой-либо страны к устойчивому развитию, возрастает пропорционально размерам населения и средней скорости потребления ресурсов на душу населения.

5. Стабильность общества – это необходимое, но не достаточное условие устойчивого развития.

6. Бремя снижения уровня жизни вследствие роста населения и снижения ресурсов ложится главным образом на плечи бедных.

7. Экологические проблемы не могут быть решены посредством увеличения скорости потребления ресурсов.

8. Состояние окружающей среды не может быть предохранено посредством компромиссов.

9. К тому времени, когда перенаселенность и дефицит ресурсов станут очевидны для большинства людей, потенциальная емкость экосферы уже будет превышена. И тогда будет слишком поздно думать об устойчивом развитии.

## IV.5. Индикаторы геоэкологического состояния и устойчивого развития

Одним из основных и в то же время простейших индикаторов состояния человека является температура его тела. Отклонение от среднего, обычно от температуры 36,6 °С, указывает на определенные нарушения в системе. В экономике индикаторами являются такие показатели, как величина валового национального продукта и его роста, уровень безработицы или показатель инфляции.

Для оценки геоэкологического состояния страны или другой территории также необходимо иметь определенные показатели этого состояния. Цель геоэкологических индикаторов – в понятной для неспециалиста (например, политика или лица, принимающего решения) форме сообщать о состоянии окружающей среды и его изменениях (в том числе антропогенных) таким образом, чтобы обнаруживать возникающие проблемы и оценивать эффективность осуществления стратегии, направленной на решение данной проблемы.

Поскольку концепция устойчивого развития основана на достижении динамического баланса между экономическими, социальными и геоэкологическими факторами, необходимо иметь соответствующие индикаторы, интегрирующие эти факторы.

Кроме того, концепция устойчивого развития предполагает, что суммарное богатство страны или мира в целом, состоящее, как мы обсуждали в разделе III. 6, из четырех видов капитала (природного, материально-финансового, человеческого и социального) не должно уменьшаться. Для осуществления

мониторинга состояния суммарного капитала также необходимы индикаторы устойчивого развития. В последние годы в этой области работает ряд национальных и межнациональных групп специалистов, предложивших большой набор как геоэкологических индикаторов, так и индикаторов устойчивого развития. Однако, вследствие чрезвычайной сложности проблем, найти один или всего лишь несколько приемлемых для всех потребителей универсальных показателей геоэкологического состояния и в особенности устойчивого развития пока не удается.

Например, С. Мураи предлагает систему индикаторов состояния страны и показателей устойчивого развития (табл. 5), разработанную главным образом на материале Японии. Она дает представление о возможном наборе основных индикаторов устойчивого развития. Применение для других стран индикаторов и критериев состояния устойчивого развития, предлагаемых Мураи, требует проверки в части полноты и репрезентативности набора индикаторов, а также с точки зрения приоритетности показателей устойчивого развития для каждой страны.

Разнообразная информация об экономическом, геоэкологическом, социальном и пр. состоянии отдельных территорий, стран и мира в целом собирается в настоящее время различными системами мониторинга. Это огромные массивы нескоординированных и необработанных данных, которые в таком виде не могут быть использованы. После соответствующей обработки и анализа эти данные представляют собой исходный материал для индикаторов. Комбинации агрегированных (обобщенных и сжатых), обработанных и проанализированных данных превращаются в индикаторы. (Например, изменения площади пашни, приходящейся на душу населения в стране Х, это простейший индикатор, состоящий из двух рядов данных: общей площади пашни и численности населения.) Комбинации индикаторов образуют индексы, наиболее сложные и наиболее агрегированные из всех показателей. (Например, индекс состояния экономики Нидерландов за год образован из четырех среднегодовых индикаторов: роста валового национального продукта (в %%), уровня безработицы (в %%), уровня инфляции (в %%) и величины дефицита бюджета).

*Таблица 5*

**Критерии устойчивого развития, по С. Мураи (Япония)**

| Индикатор развития | Устойчивое | Критическое | Разрушительное |
|---|---|---|---|
| Рост населения | <0,5% в год | 1,0—1,5% в год | >2,0% в год |
| Валовый национ. продукт за год | 3%<ВНП<5% | 8%<ВНП<10% | ВНП>10% ВНП<0% |
| Обезлесение | <0,1% в год | 0,5—1,0% в год | >1% в год |
| Отн. пл-дь лесов | >30% | 15—20% | <10% |
| Пл-дь пашни | >0,3 га/чел. | 0,15—0,2 га/чел. | <0,1 га/чел. |
| Обеспечение собств. зерном | >90% | 60-70% | <50% |
| Плотность городского населения | <50 чел./га | 100—150 чел./га | >200 чел./га |
| Численность населения города | <0,5 млн чел. | >1 млн чел. | >10 млн чел. |

Необходимость разработки геоэкологических индикаторов и индексов в целях оценки состояния стран и его изменения в результате антропогенной деятельности была признана Конференцией ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро. Еще до Конференции, в конце 1980-х гг., правительства Канады и Нидерландов приступили к разработке концепции геоэкологических индикаторов. В 1989 г. на ежегодной конференции глав семи наиболее развитых капиталистических стран было принято обращение к Организации Экономического Сотрудничества и Развития (ОЭСР) о разработке геоэкологических индикаторов. (ОЭСР – это организация, объединяющая все развитые капиталистические страны мира.) В результате была разработана концепция, организующая геоэкологическую информацию в три взаимосвязанные группы индикаторов: индикаторов нагрузки на окружающую среду, индикаторов ее состояния и индикаторов ее реакции на изменения ее состояния.

Этот подход основан на относительно простых вопросах: Что происходит с состоянием окружающей среды и природных ресурсов? Почему это происходит? Что общество делает в ответ на эти изменения? Индикаторы состояния дают ответ на первый вопрос, индикаторы нагрузки – на второй и индикаторы действий, предпринятых обществом в ответ на полученную информацию, – на третий.

В табл. 6 приводятся возможные геоэкологические

индикаторы, предложенные ОЭСР и ЮНЕП на основе вышеизложенной концепции.

В таком же виде могут быть представлены и социальные, и экономические индикаторы, необходимые, как уже обсуждалось, для формирования показателей устойчивого развития.

Матрицы, подобные табл. 5, полезны для определения содержания индикаторов, но они все же не упрощают информацию настолько, что она становится доступной для неспециалистов. Поэтому для построения индикаторов, более приемлемых для неспециалистов, необходим более высокий уровень сжатия и структурирования информации. Авторы коллективной работы (1995), выполненной в Институте мировых ресурсов (Вашингтон, США), предлагают задачу разработки следующих четырех ключевых геоэкологических индексов:

- индекса загрязнения окружающей среды;
- индекса истощения ресурсов;
- индекса риска состояния экосистем;
- индекса экологического воздействия на благосостояние людей.

*Таблица 6*

**Геоэкологические индикаторы (по ОЭСР и ЮНЕП)**

| Проблема | Нагрузка | Состояние | Реакция |
|---|---|---|---|
| Изменение климата | Эмиссия парниковых газов | Концентрации парниковых газов | Производство энергии, геоэкологические меры |
| Нарушение озонового слоя | Производство и эмиссия хлорфторуглеродов | Концентрации ХФУ и озона | Международные соглашения, вклады в спец. фонд |
| Эвтрофикация | Поступления N, P в воду и почву | Концентрации N, P, величина БПК | Очистка стоков, капиталовложения |
| Асидификация | Поступления SOx, NOx, $NH_3$ | Аккумуляция, концентрации | Капиталовложения, международные соглашения |
| Загрязнение токсичными веществами | Поступления в окружающую среду | Концентрации | Капиталовложения |
| Качество городской среды | Эмиссия NOx, SOx, органических веществ | Концентрации NOx, SOx, орг. веществ | Улучшение транспорта Капиталовложения |
| Биологическое разнообразие | Антропогенная трансформация экосистем | Относительное обилие видов | Охраняемые территории |
| Отходы | Образование отходов | Качество подземных вод и почвы | Скорость обработки, капиталовложения |
| Водные ресурсы | Объем водозабора, интенсивность использовани | Отношение спроса к потреблению, качество | Экономия воды, плата за воду |
| Лесные ресурсы | Интенсивность использования | Отношение рубка/прирост, площадь деградированных лесов | Повышение качества лесного хозяйства |
| Рыбные ресурсы | Уловы | Устойчивость рыбных запасов | Квоты на вылов |
| Деградация почв | Изменения в использовании земли | Потери плодородного слоя | Защита и восстановление |
| Прибрежные зоны, океаны | Сбросы загрязнений, разливы нефти | Качество воды | Управление прибрежной зоной, защита океанов |
| *Геоэкологический индекс* | *Индекс нагрузки* | *Индекс состояния* | *Индекс реагирования* |

Индекс загрязнения окружающей среды используется правительством Нидерландов. Он состоит из шести тщательно проанализированных и обобщенных (агрегированных) индикаторов: эмиссии в атмосферу газов с парниковым эффектом, асидификации окружающей среды, эвтрофикации окружающей среды, дисперсии токсичных веществ, обработки

твердых отходов, неудобства от запахов и шума. Этот индекс отражает суммарное давление на окружающую среду как поглотитель загрязнений. Для этого необходимо было совмещать несравнимые величины, что было достигнуто посредством придания различного веса каждой из проблем, отраженных соответствующим индикатором. Вес определялся на основе существующего различия между текущим значением индикатора и его долгосрочной целью: чем значительнее различие, тем больше вес. Наибольший вес был придан индикаторам эмиссии газов с парниковым эффектом, дисперсии токсичных веществ и асидификации (в порядке снижения приоритетности). Общий тренд за период 1980–1991 гг. демонстрирует снижение геоэкологической нагрузки приблизительно на 15 %, главным образом, благодаря выполнению долгосрочной национальной стратегии устойчивого развития.

Тенденции изменения как индивидуальных индикаторов, так и композитного индекса загрязнения указывают на то, движется ли страна к цели устойчивого развития или удаляется от нее.

Индикаторы загрязнения окружающей среды Нидерландлов публикуются правительством ежегодно начиная с 1991 г. Они вызывают значительное внимание общественности. По ним судят об успешности деятельности правительства и частного сектора. Индикаторы сжимают огромное количество данных в простые и понятные показатели, они ведут к обсуждению конкретных действий в области снижения загрязнения окружающей среды и способствуют, таким образом, выполнению стратегии устойчивого развития, принятой парламентом Нидерландов.

Сравнение такого индекса для ряда подобных стран позволит сравнивать степень их загрязнения и определять приоритетные направления для международного сотрудничества.

## IV.6. Понятие об экологической экономике

Как уже указывалось ранее, традиционные экономические показатели отражают объем производимых товаров и услуг. Принято считать, что большой прирост производства за год – это индикатор благоприятного экономического состояния страны. Иногда этот подход приводит к парадоксам. Например, чем больше нефти выкачивается из недр, тем выше показатель экономического роста, в то время как этот показатель совершенно не отражает тот факт, что чем больше добывается нефти, тем меньше становятся ее запасы, то есть национальное богатство страны, располагающей запасами нефти, сокращается. Иными словами, нефть как бы берется в долг у будущих поколений.

В нашей стране главным источником валюты были и пока остаются нефть и газ. ВНП как показатель состояния экономики в 1970–1980 гг. в СССР увеличивался вследствие роста добычи нефти и газа, хотя мы все становились беднее, потому что одно из наших главных богатств уходило из недр навсегда и в значительной части за границу.

Рост производства энергии, основанный на сжигании горючих ископаемых, также находит свое отражение в увеличении ВНП стран. Но загрязнение атмосферы, связанное с ростом энергетики, обычно не отражается на экономических показателях.

Мы говорим пока только о двух видах капитала, материально-финансовом и природном. Для понимания истинного состояния стран и тенденций их развития необходимо научиться решать задачу интегрирования всех видов капитала. Предполагается, что виды капитала взаимозаменяемы, то есть принципиально возможно израсходовать часть природных ресурсов в целях повышения других видов капитала в стране. Полученные от природных ресуров средства могут, например, пойти на улучшение образования, сохранение и повышение уровня науки, на совершенствование институтов демократии, на строительство новых промышленных предприятий и пр.

Однако эта взаимозаменяемость ограниченная – в отличие от других видов капитала, природный капитал не полностью регенерируется после его расходования: антропогенные ландшафты не возвращаются к естественному первоначальному состоянию, добытые полезные ископаемые рано или поздно превращаются в отходы и теряются как ресурс, израсходованная самоочищающая способность рек полностью не восстанавливается и т. д. Таких примеров можно привести очень много. Поэтому, казалось бы, очевидная цель устойчивого развития – по крайней мере, сохранять суммарный капитал Земли на душу растущего населения – имеет очень серьезные геоэкологические ограничения.

Задача интегрирования всех четырех видов капитала пока находится на начальных стадиях своего теоретического решения. Несколько больший, хотя и ограниченный, прогресс достигнут в исследованиях взаимосвязи между природным и материально-финансовым капиталом, то есть между экологией и экономикой.

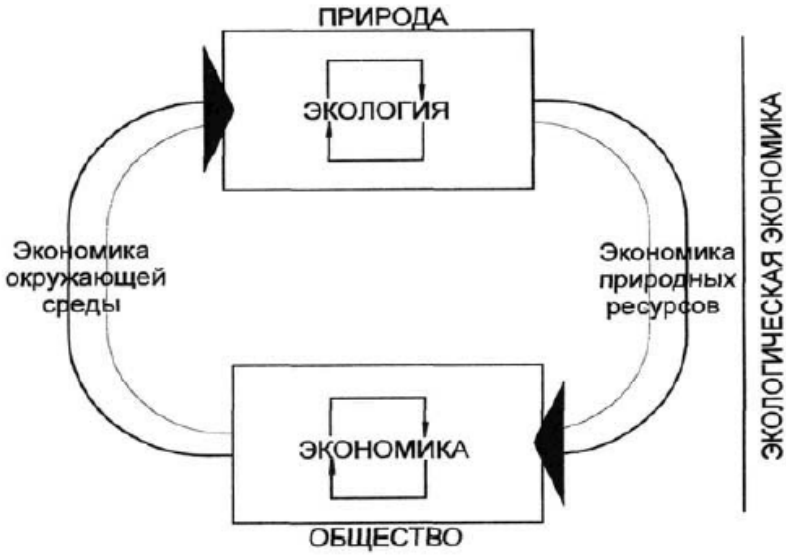


**Рис. 5. Экологическая экономика и ее ветви (по Х. Дейли)**

Эти взаимосвязи привели к возникновению нескольких ветвей экономики, связывающих экономические и экологические проблемы (рис. 5). Природа и общество исследуются соответствующими науками – экологией (правильнее сказать, науками о Земле) и экономикой. Соотношения между этими двумя областями исследуются экономикой окружающей среды (environmental economics) (например, конкретные экономические вопросы загрязнения в результате хозяйственной деятельности) и экономикой природных ресурсов (resource economics) (например, вопросы оптимального использования природных ресурсов). Наконец, исследования всей сложной системы взаимоотношений природы и общества относятся к новому междисциплинарному направлению – экологической экономике (ecological economics), а точнее бы сказать, геоэкологической экономике.

Оценка истинного состояния экономики стран должна основываться, например, на анализе и оценке следующих показателей[2]:

$$ФУД = (ВНП – АМК) + (РПБ – АПБ – МПУ – ПНУ),$$

где ФУД – фактический устойчивый доход,
ВНП – валовый национальный продукт,
АМК – амортизация материально-финансового капитала,
РПБ – рост национального природного богатства,
АПБ – амортизация национального природного богатства,

МПУ – стоимость мер по предотвращению ущерба природным ресурсам,

ПНУ – потери от непредотвращенного ущерба природным ресурсам.

При этом два первых члена правой части уравнения отражают традиционную оценку состояния экономики, а четыре последующих члена – экологическую часть этой оценки.

Группа исследователей Института мировых ресурсов (Вашингтон, США) под руководством Роберта Репетто (1989 г.) попыталась оценить истинные изменения в экономике Индонезии за 1971–1984 г., учитывая не только ВНП, но и геоэкологические показатели. Индонезия в эти годы ускоренно развивалась, и ВНП составлял в среднем 7,1 % в год, то есть объем экономики удваивался каждые десять лет. Однако, если учитывать расходование запасов нефти, сведение лесов и ухудшение состояния почв, то реальный средний рост понижается до 4 % в год. А если учесть потерю ресурсов вследствие добычи других полезных ископаемых, вылов рыбы, превышающий ежегодный прирост ее запасов, то фактический рост экономики в среднем за год оказывается еще ниже. В сельском хозяйстве Индонезии прирост производства за это время полностью компенсировался снижением плодородия почв, то есть фактически годовой прирост суммарного капитала в сельском хозяйстве оказался равен нулю. Таким образом, весьма внушительный рост сельскохозяйственного производства достигнут за счет потери природного плодородия почвы.

Подобные расчеты были выполнены и для других стран, например, для Коста-Рики, с аналогичными выводами.

В США группой частных исследователей разработан индекс, отражающий изменения благосостояния этой страны (Genuine Progress Indicator – Индекс Истинного прогресса, или GPI-ИИП). Он принимает во внимание более двадцати экономических, социальных и экологических индикаторов. ИИП основан на данных ВНП, выражается в денежном исчислении и потому позволяет сравнивать ИИП и ВНП. Вместе с тем ИИП вносит поправки к некоторым показателям, учитываемым в ВНП. ИИП, например, учитывает неравномерность распределения дохода, таким образом, что он уменьшается, если бедная часть населения получает меньшую, чем в среднем, долю национального дохода. ИИП добавляет к ВНП некоторые факторы, как, например, стоимость домашней или добровольной работы, или вычитает из ВНП такие показатели, как потери общества в связи с ростом преступности или загрязнением окружающей среды. ИИП учитывает ухудшение состояния природных ресурсов. В

частности, увеличение объема добычи нефти учитывается как отрицательный показатель, в отличие от ВНП. Ухудшение состояния экосферы (изменение климата, разрушение озонового слоя или рост радиоактивного загрязнения) также приводят с снижению ИИП.

За период 1950–1995 гг. ВНП на душу населения США неуклонно увеличивался и вырос более чем вдвое, в то время как ИИП на душу населения возрастал в течение 1960—1970-х гг., но затем, с 1970 до 1995 г., сократился на 45 %. При этом скорость падения ИИП увеличивается (рис. 6).

Согласно авторам исследования, сокращение индекса истинного прогресса (ИИП) для США за последние 25 лет говорит о том, что экономический рост, как будто бы отражаемый в ВНП, на самом деле демонстрирует: а) исправление ошибок и социальных проблем предшествующего периода, б) заем ресурсов из будущего, в) усиление монетаризации экономики без ее фактического прогресса. Общественные настроения в США и изменения таких эмоциональных показателей, как ощущения благополучия, безопасности и счастья, также гораздо точнее отражаются через ИИП, чем через ВНП.

Аналогичные расчеты по России (или СССР), насколько нам известно, не проводились, но нет сомнения, что фактический рост суммарного национального богатства страны давно остановился и стал отрицательным вследствие безудержного экспорта нефти, газа, леса, цветных металлов и пр. и ухудшения состояния природной среды в местах добычи и транспортировки этих ресурсов. Помимо этого, природный капитал страны, так же как и суммарный капитал, сокращался вследствие ухудшения качества воды и воздуха, снижения природного плодородия почвы, уменьшения способности экосистем поглощать загрязнения и других геоэкологических факторов.

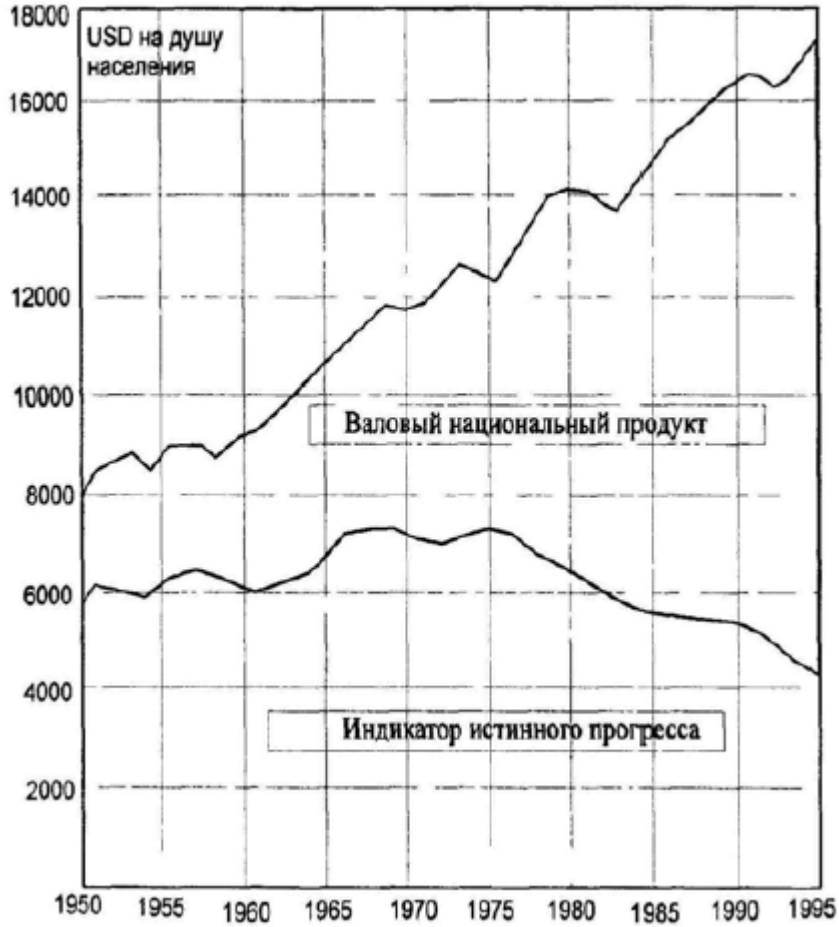


**Рис. 6. Значение учета геоэкологических и социальных факторов в комплексной оценке состояния США**

Более детальные, количественные оценки изменения национального богатства, включающие, по крайней мере, как традиционные экономические, так и экологические показатели, необходимы как индексы состояния страны и его эволюции. Эти показатели не могут основываться только на денежном исчислении, и необходимо искать подходы к их относительной оценке.

При этом, строго говоря, должны учитываться компоненты, выражаемые как в денежном исчислении, так и в материальном исчислении (например, в величинах запасов ресурсов), а также приниматься во внимание экологические неисчисляемые факторы, такие как красота ландшафта или степень нетронутости природы. Этот подход носит название бухгалтерии природных ресурсов (Natural Resource Accounting). Ни одна из стран пока не

ввела у себя «зеленую бухгалтерию», полностью интегрирующую экономические и экологические показатели, но проработки на государственном уровне в ряде стран показывают, что «зеленый» эколого-экономический индекс был бы более корректным и полезным, чем принятая сейчас система оценки экономического состояния государств, основанная на идеологии ВНП.

Существует много ситуаций на всех уровнях, от отдельной фабрики до государства в целом, когда возникает конфликт интересов между экономическим ростом и необходимостью сохранения качества окружающей среды. Обычно достичь полного удовлетворения интересов обеих сторон невозможно. В этих случаях приходится идти на компромисс в поисках оптимального решения, которое бы не худшим образом удовлетворяло интересы обеих сторон. Типичный пример ситуации – поиски компромисса, связанного с планируемым строительством новой фабрики, которая принесла бы значительные доходы, повысила бы занятость населения, но и увеличила бы загрязнение окружающей среды. В таких случаях невозможно достичь абсолютно благоприятного решения с точки зрения интересов как экономики, так и экологии. Приходится идти на компромисс, то есть соглашаться или на увеличение затрат по введению более чистой, но более дорогой технологии, или поступаться определенным снижением качества среды.

Эта ситуация теоретически представлена на рис. 7. Оптимальные решения, наилучшим возможным образом удовлетворяющие интересам как экологии, так и экономики, находятся на кривой, обозначенной сплошной линией, менее выгодные решения находятся внутри области, ограниченной этой линией и осями координат, а решения в области, ограниченной линией оптимума и точкой с координатами (1,1), невозможны. Поверхность оптимальных решений называется оптимумом Парето.

**Рис. 7. Компромисс между конфликтными экологическими и экономическими интересами**

Экономический ущерб от загрязнения окружающей среды возрастает по мере увеличения нагрузки на нее (рис. 8). При этом первые порции загрязнения поглощаются окружающей средой, и ущерб природе, хотя и существует, обычно не учитывается в экономических показателях. Каждая последующая порция загрязнения обычно приносит непропорционально больший ущерб, так что зависимость ущерба среде от загрязнения (1) нелинейна. Ущерб можно предотвратить, если вкладывать деньги в технологические мероприятия, снижающие выбросы загрязнений. Функция этих издержек (2) также нелинейна, потому что затраты на технологические улучшения возрастают непропорционально быстро по сравнению со снижением выбросов. Ясно, что добиться полной ликвидации сбросов можно только за счет бесконечно больших расходов, то есть это практически нецелесообразно.

Кривые экологического ущерба (1) и затрат на предотвращение загрязнения (2) пересекаются в точке, где суммарные денежные затраты общества на решение проблемы контроля загрязнения достигают минимума. Она называется точкой экономического оптимума загрязнения окружающей среды, и в ней теоретически достигается равенство затрат и ущерба. Однако, чтобы учесть как экономические, так и

экологические показатели затрат и ущерба, необходиомо сложить ординаты кривых (1) и (2). Эта сумма представлена в виде кривой (3), отражающей суммарные (как экономические, так и экологические) потери. На кривой выделяется область минимальных суммарных потерь.

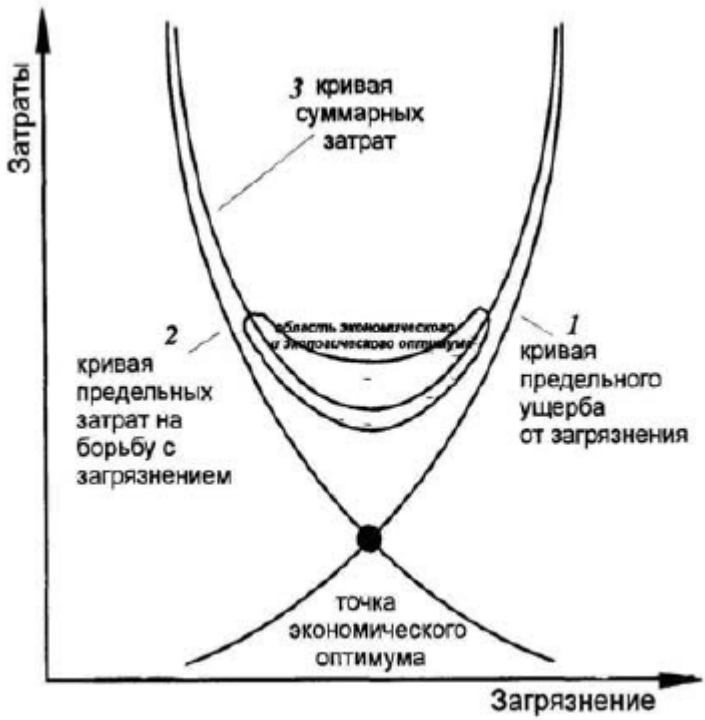


**Рис. 8. Соотношение экологического ущерба, затрат на предотвращение загрязнения среды и суммарного (экологического и экономического) ущерба**

Пока воздействие человека на среду не было столь большим, как сейчас, экономика могла обходиться без учета экологических факторов. В настоящее время учет экологических затрат становится необходимостью. Цена продукта должна отражать все виды затрат. Она должна включать затраты общества, связанные с загрязнением воды, воздуха и почвы, с болезнями, вызванными этими загрязнениями, с расходованием возобновимых и невозобновимых ресурсов, со снижением функций жизнеобеспечения экосферы и пр. Такое повышение цены за счет ее экологической компоненты должно стать серьезным фактором регулирования ресурсов экосферы.

Однако здесь возникают значительные практические трудности. Цена продукта, как известно, хорошо отражает

состояние рынка, а через регулирование цен можно воздействовать на рынок. Однако в проблемах геоэкологии рыночный механизм столь же несовершенен, что и механизм централизованного планирования, потому что многие ресурсы, в особенности ресурсы совместного пользования, такие как атмосфера, цены не имеют. Вспомним трагедию всеобщего достояния и связанную с ней историю с перегруженным лугом из Главы 1.

Кроме того, цена должна отражать несоизмеримые показатели, потому что не все они выражаются в денежном исчислении. Сколько, например, стоит один гектар леса? Мы можем сказать, сколько стоит древесина и ее годовой прирост на этом гектаре. Мы можем оценить стоимость других лесных продуктов. Но как оценить высокое качество водных ресурсов, формирующихся на гектаре леса, качество воздуха, роль леса в глобальном круговороте углерода или, наконец, его туристические или эмоциональные ресурсы? Экономические механизмы должны работать, способствуя решению геоэкологических проблем. Необходима дальнейшая исследовательская работа, чтобы ответить на эти и подобные вопросы. При этом чем больше территория, тем сложнее находить ответы. В особенности это сложно для мира в целом.

## IV.7. Управление состоянием окружающей среды на локальном уровне

Управление состоянием отдельных объектов и частей экосферы – сложный междисциплинарный процесс, неизбежно включающий, наряду с компонентами естественных наук, элементы экономики, права, администрации и политики.

Существуют три основные группы методов управления в сфере природопользования: административное регулирование, система экономических рычагов и использование рыночных отношений.

Административное регулирование, в свою очередь, состоит из двух групп методов: а) установление и соблюдение нормативных стандартов и ограничений, за пределы которых не разрешается выходить, и б) осуществление непосредственных мер административного воздействия.

*Стандарты качества окружающей среды* регламентируют состояние отдельных ее составляющих (воды, воздуха, почв и т. д.). В российской практике обычно для каждого загрязнителя установлена его предельно допустимая концентрация (ПДК). При этом считается, что при уровне концентрации, равном или

меньшем ПДК, загрязняющее вещество не оказывает неблагоприятного действия на здоровье человека и состояние экосистем. Нормативы ПДК бывают среднесуточные и максимально разовые, устанавливающие предел концентрации загрязнителя.

На всей территории, подверженной воздействию загрязнителей от ряда предприятий, уровень загрязнения не должен превышать ПДК. Чтобы не превысить этот уровень, для каждого предприятия устанавливаются предполагаемые уровни сбросов (для воды) или выбросов (для воздуха) «на конце трубы», то есть в точке сброса (выброса), и производятся расчеты ожидаемого перемешивания воды (воздуха) с определением ПДК в контрольных точках в приземном слое воздуха на всей территории. Если концентрация загрязнителя даже в одной контрольной точке оказывается выше ПДК, то предполагаемые величины сбросов (выбросов) уменьшаются. Такие циклы расчета продолжаются до тех пор, пока не достигается желаемая концентрация. Определенные таким образом приемлемые величины сбросов (выбросов) для каждого предприятия называются предельно допустимыми выбросами (ПДВ) для воздуха или предельно допустимыми сбросами (ПДС) для воды.

Если предприятие не в состоянии обеспечить требуемые ПДВ или ПДС, то ему устанавливаются нормативы временно согласованных выбросов (ВСВ) для воздуха или временно согласованных сбросов (ВСС) для воды. Это делается в ожидании того, что предприятие будет осуществлять долгосрочную программу снижения выбросов и постепенно достигнет уровня ПДВ (ПДС). Здесь, по-видимому, кроется лазейка для многолетнего загрязнения среды, превышающего установленные нормативы.

*Технологические стандарты* предопределяют требования к модернизации процессов производства, приводящие к желаемому состоянию окружающей среды. В американской практике это требование к внедрению в промышленности так называемой наилучшей из имеющихся технологий (best available technology), а в сельском хозяйстве – наилучших приемов управления (best management practices).

*Стандарты качества продукции* регламентируют содержание в ней вредных веществ.

*Прямые административные запреты* применяются, когда нежелательные последствия могут регулироваться только таким жестким способом. Например, ряд заводов в СССР и Центральной Европе был закрыт в 1989–1990 гг. потому, что было невозможно снизить загрязнение от них экономически целесообразным и

технологически возможным путем. Ранее был введен запрет на производство и использование пестицида ДДТ, отличающегося высокой степенью токсичности и чрезвычайно продолжительным временем распада. Постепенно, в соответствии с международными соглашениями, снижается производство хлорфторуглеродов (ХФУ), разрушающих озоновый слой. В случае ХФУ действуют *квоты,* определяющие объем их производства и употребления в стране. За несколько лет до полного прекращения охоты на китов в мире СССР использовал ежегодный *лимит* на количество добываемых животных, устанавливавшийся для нашей страны.

*Сертификаты* на пользование землей и водой свидетельствуют о постоянном или временном праве пользования ресурсом и определяют его пределы. *Разрешения и лицензии* выдаются на определенный срок для деятельности, которая может оказаться экологически опасной.

*Экологическая экспертиза* направлена на анализ последствий как намечаемого проекта, так и уже функционирующего. *Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС)* является частью экологической экспертизы.

Система экономических методов отличается от административной тем, что предприятие-загрязнитель не сковано стандартами и может выбирать свою стратегию, исходя из затрат и результатов, но оно не может влиять на централизованно регулируемые экономические параметры, определяющие экологические расходы предприятия.

Среди экономических рычагов наиболее распространены *платежи* и *налоги за загрязнение*, которые фактически представляют собой плату за пользование ассимиляционным потенциалом окружающей среды. Предполагается, что предприятие заинтересовано в сокращении платежей и налогов и потому стремится к сокращению выбросов. Налоги идут в бюджет, в то время как платежи по большей части направляются в экологический фонд и используются для решения экологических проблем.

*Субсидии* представляют собой специальные выплаты предприятиям-загрязнителям для финансирования мероприятий по сокращению сбросов.

Рыночные методы управления состоянием окружающей среды направлены на более гибкие отношения между пользователями ресурсов и органами управления. Общество определяет допустимые масштабы загрязнения, после чего *разрешения на выброс* распределяются (распродаются) между отдельными предприятиями. Фирма либо достигает установленного стандарта

загрязнения, вводя технологические новшества и ограничивая свои сбросы в пределах установленного разрешения, либо приобретает дополнительно часть разрешения на выброс, выданного другому предприятию. Тем самым фактически создается рынок прав на загрязнение и соответствующие банки и биржи прав на загрязнение.

В практике управления состоянием окружающей среды используется комплекс методов, потому что каждый из них имеет свои положительные и отрицательные стороны.

# Часть III
# Геосферы земли и деятельность человека

В этой части мы рассмотрим основные геоэкологические проблемы, развивающиеся в отдельных геосферах Земли. В то же время все крупные проблемы геоэкологии выходят далеко за рамки одной геосферы, и распределение материала по геосферам в значительной степени вызвано удобством изложения.

# V. Атмосфера. Влияние деятельности человека на атмосферу и климат

## V.I. Основные особенности атмосферы и климата Земли [3]

Атмосфера – это газовая оболочка Земли с содержащимися в ней аэрозольными частицами. Она движется вместе с твердой Землей как единое целое и одновременно принимает участие во вращении Земли. Газы сжимаемы, и потому плотность воздуха наибольшая у земной поверхности, убывая кверху. Половина всей массы атмосферы сосредоточена в нижних 5 км, а три четверти – в нижних 10 км.

Атмосфера состоит из концентрических слоев, отличающихся своими характеристиками, – тропосферы, стратосферы, мезосферы, термосферы, экзосферы и магнитосферы. В нижнем из слоев, тропосфере, температура воздуха убывает с высотой: средняя величина вертикального градиента температуры составляет 0,6 ˚С/100 м. Выше тропосферы падение температуры с высотой в конце концов сменяется ее ростом. В тропиках толщина тропосферы в среднем составляет 15–17 км, в умеренных широтах – 10–12 км, над полюсами – до 8–9 км. В тропосфере сосредоточено 4/5 всей массы воздуха атмосферы и почти весь водяной пар. Она взаимодействует с нижележащими оболочками Земли. Большая часть геоэкологических проблем, относящихся преимущественно к атмосфере, сосредоточена в тропосфере и в особенности на нижней ее границе.

Физическое состояние атмосферы в данной точке в данный момент времени называется погодой. В свою очередь, совокупность атмосферных условий (то есть погод) данной местности за многолетний период называют локальным климатом. Конкретные типы локальных климатов определяются такими географическими факторами, как широта места, распределение суши и моря, положение места по отношению к океанам, а также его положение в системе общей циркуляции атмосферы, крупномасштабные особенности рельефа, растительный покров, снежный покров и морские льды, океанические течения. Из локальных климатов складываются географически обусловленные климаты на территориях более высоких рангов, вплоть до континентов, океанов и Земли в целом.

В формировании погоды и климата участвуют три основных взаимосвязанных и взаимообусловленных группы атмосферных

процессов, называемых климатообразующими: теплооборот, влагооборот и атмосферная циркуляция.

Под термином теплооборот понимается сумма процессов получения, преобразования, переноса и потери тепла в системе земля – атмосфера. О нем уже вкратце говорилось в главе 1. Теплооборот предопределяет важнейшую климатологическую характеристику – температурный режим того или иного места. Распределение температуры воздуха зависит от общих условий притока солнечной радиации в зависимости от широты, от расположения суши и моря, по-разному аккумулирующих тепло, и от воздушных течений, переносящих тепловую энергию от одних областей к другим.

Атмосферный воздух у земной поверхности содержит существенное количество влаги, в среднем от 0,2 % в полярных районах до 2,5 % у экватора. Соответственно, под термином влагооборот понимается сумма процессов накопления, отдачи и переноса влаги, определяющих особенности увлажнения данного места. Большую роль играют процессы фазовых переходов (испарение или конденсация, таяние или замерзание) влаги в атмосфере и в слое взаимодействия между земной поверхностью и атмосферой. Благодаря этим процессам осуществляется взаимосвязь между тепловым и водным режимами географической оболочки.

Неравномерное распределение тепла в атмосфере приводит к неравномерному распределению атмосферного давления, а от распределения давления зависят воздушные течения. Ряд факторов предопределяет закономерное распределение на Земле основных барических центров (то есть центров повышенного или пониженного атмосферного давления) и его изменения по сезонам года. Они и формируют столь же закономерную систему крупномасштабных воздушных течений на Земле, называемую общей циркуляцией атмосферы. Общая циркуляция атмосферы – одна из характернейших особенностей экосферы.

Вследствие большой подвижности атмосферы и, соответственно, относительно быстрого ее перемешивания, в нижних 100 км процентное соотношение содержащихся в ней газов постоянно (в %% по объему):

| Азот | Кислород | Аргон | Углекислый газ |
|---|---|---|---|
| 78,08 | 20,95 | 0,93 | 0,03 |

На долю остальных нескольких десятков и даже сотен газов приходится всего лишь 0,01 %, но многие из этих газов, как мы

увидим далее, играют значительную роль в состоянии экосферы.

Процессы и особенности атмосферы изменяются под воздействием деятельности человека. Локальные изменения состояния природно-территориальных комплексов (ландшафтов), такие как возникновение и развитие городов, оросительных и других земледельческих систем, антропогенные преобразования пастбищ, возникновение водохранилищ и пр., ведут к локальным изменениям климата. Крупномасштабные антропогенные изменения поверхности Земли (например, обезлесение, опустынивание, деградация внутренних морей и озер и др.) также обусловливают изменения особенностей теплового и водного режима на больших территориях и акваториях, хотя и пока еще менее заметные.

Наряду с изменениями физических особенностей атмосферы с вытекающими отсюда последствиями, происходят антропогенные изменения ее газового состава. По-видимому, в настоящее время роль человека проявляется сильнее в этой области, и химические трансформации в атмосфере создают ряд серьезных геоэкологических проблем. К их числу надо отнести антропогенное изменение климата и его последствия, нарушение естественного состояния озонового слоя, асидификация, включая кислотные осадки, и локальное загрязнение атмосферы.

## V.2. Антропогенное изменение климата и его последствия

### V.2.1. Парниковый эффект

Источником энергии погодных и климатических процессов является солнечная радиация. К земной поверхности приходит коротковолновая радиация, в то время как нагреваемая таким образом Земля испускает в атмосферу и далее за ее пределы энергию в виде длинноволнового (инфракрасного, или теплового) излучения.

Некоторые газы в атмосфере, включая водяной пар, отличаются парниковым эффектом, то есть способностью в большей степени пропускать к поверхности Земли солнечную радиацию по сравнению с тепловым излучением, испускаемым нагретой Солнцем Землей. В результате температура поверхности Земли и приземного слоя воздуха выше, чем она была бы при отсутствии парникового эффекта. Средняя температура поверхности Земли равна плюс 15 ˚С, а без парникового эффекта она была бы минус 18˚! Естественный парниковый эффект – один

из механизмов жизнеобеспечения на Земле.

Ведущую роль в парниковом эффекте играет водяной пар, находящийся в атмосфере. Удивительно, что большую роль играют также газы, не отличающиеся высокой концентрацией в атмосфере. К основным парниковым газам относятся: углекислый газ (диоксид углерода) ($CO_2$), метан ($CH_4$), оксиды азота, в особенности $N_2O$, и озон ($O_3$). В эту же категорию следует включить не встречающуюся в природе группу газов, синтезируемых человеком, под общим названием хлорфторуглероды.

Если баланс на верхней границе тропосферы между приходящей коротковолновой и отраженной длинноволновой радиацией не равен нулю, то возникает дополнительный эффект радиационного воздействия на атмосферу, приводящий либо к нагреванию (при перевесе приходящей радиации), либо к охлаждению тропосферы. Атмосфера реагирует на эти изменения, постепенно устанавливая новый радиационный баланс посредством соответствующего повышения или понижения температуры тропосферы и поверхности Земли.

Например, при удвоенной концентрации углекислого газа, по сравнению с концентрацией в начале промышленной революции (1750–1800 гг.), и при отсутствии других факторов эффект радиационного воздействия составил бы 4 вт/м$^2$, а компенсационное повышение температуры было бы около 1°. При более полном учете факторов и обратных связей между ними оказывается, что удвоение концентрации углекислого газа привело бы к повышению температуры на 2,5°. Эффект радиационного воздействия при удвоенной концентрации $CO_2$, равный 4 вт/м$^2$, составляет 1,7 % от величины коротковолновой солнечной радиации, поглощаемой атмосферой и поверхностью Земли и равной в среднем 240 вт/м$^2$. Нарушение баланса приходящей и уходящей радиации всего лишь на 1,7 % приводит, как видим, к очень серьезным изменениям климата! Это также еще один пример высокой степени сбалансированности механизмов жизнеобеспечения экосферы, обеспечивающих ее устойчивость.

Установлено, что многие действия человека за последние 200 лет, и в особенности после 1950 г., привели к продолжающемуся и в настоящее время повышению концентрации в атмосфере газов, обладающих парниковым эффектом (рис. 9). Неизбежно последовавшая за этим реакция атмосферы заключается в антропогенном усилении естественного парникового эффекта. Суммарное антропогенное усиление парникового эффекта оценивается, по состоянию на 1995 г., величиной +2,45 ватт/м$^2$

(Международный Комитет по изменению климата – IPCC).

Парниковый эффект каждого из таких газов зависит от трех основных факторов:

а) ожидаемого парникового эффекта на протяжении ближайших десятилетий или веков (например, 20, 100 или 500 лет), вызываемого единичным объемом газа, уже поступившим в атмосферу, по сравнению с эффектом от углекислого газа, принимаемым за единицу;

б) типичной продолжительности его пребывания в атмосфере;

в) объема эмиссии газа.

Комбинация первых двух факторов носит название «Относительный парниковый потенциал» и выражается в единицах от потенциала $CO_2$. Она является удобным показателем текущего состояния парникового эффекта и используется в международных дипломатических переговорах. Относительная роль каждого из парниковых газов весьма чувствительна к изменению каждого фактора и к их взаимозависимости и потому определяется весьма приближенно.

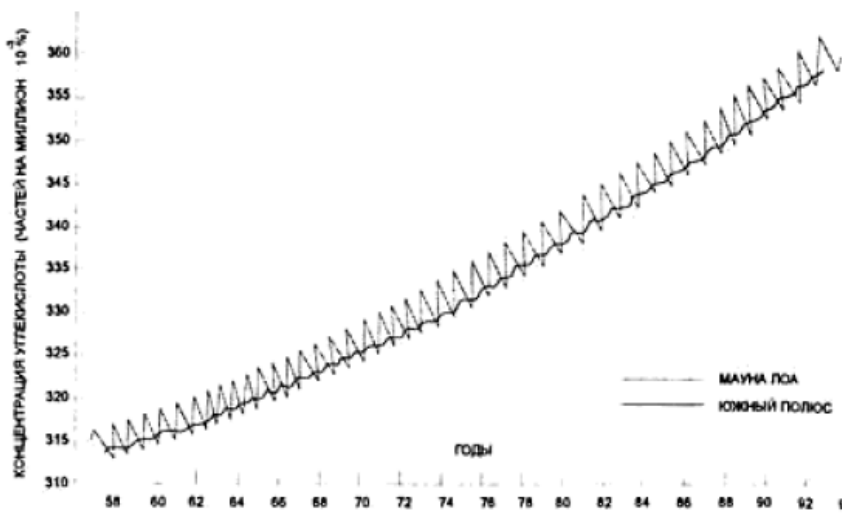


**Рис. 9. Средняя месячная концентрация углекислого газа в атмосфере за 1957–1993 гг. на Гавайских островах (Мауна Лоа) и Южном полюсе**

Основные особенности газов с парниковым эффектом в атмосфере по состоянию в основном на 1994 г. приведены в табл. 7.

*Таблица 7*

**Основные особенности газов с парниковым эффектом**

| Газ | Концентрация, частей на миллиард | Прирост концентрации, %% за год | Относительный парниковый потенциал газа на ближайшие 20 лет | Продолжительность существования в атмосфере, гг. | Антропогенное усиление парникового эффекта, ватт/м² |
|---|---|---|---|---|---|
| Диоксид углерода, $CO_2$ | 358000 | 0,4 | 1 | 50–200 | 1,56 |
| Метан, $CH_4$ | 1720 | 0,6 | 12 | 12–17 | 0,47 |
| Оксид азота, $N_2O$ | 312 | 0,25 | 290 | 120 | 0,14 |
| Хлорфторуглероды* | 0,1–0,3 | 0–5 | 300–8000 | 12–50 | 0,15 |

* Данные взяты для наиболее типичных для 1995 г. хлорфторуглеродов, как используемых, так и запрещенных к использованию, но еще находящихся в атмосфере.

## V.2.2. Газы с парниковым эффектом

Для понимания глобального парникового эффекта необходимо понять роль каждого из газов. Как видим, картина отличается большой сложностью и изменчивостью во времени.

Роль *водяного пара,* содержащегося в атмосфере, в общемировом парниковом эффекте велика, но трудно определима однозначно. Режим водяного пара в атмосфере – главный источник неопределенности изменения климата. При потеплении климата содержание водяного пара в атмосфере будет увеличиваться, тем самым усиливая парниковый эффект.

*Диоксид углерода, или углекислый газ ($CO_2$),* отличается, по сравнению с другими парниковыми газами, относительно низким потенциалом парникового эффекта, но довольно значительной продолжительностью существования в атмосфере, порядка 50—200 лет, и сравнительно высокой концентрацией. Доля диоксида углерода в парниковом эффекте составляет в настоящее время около 64 %, но эта относительная величина неустойчива, поскольку зависит от изменяющейся роли других парниковых газов.

Концентрация углекислого газа в атмосфере в период с 1000 по 1800 гг. составляла 270–290 частей на миллион по объему (ppmv). Затем она стала неуклонно увеличиваться, с соответствующим возрастанием парникового эффекта. В 1958 г., когда начались постоянные инструментальные наблюдения, она была 315 ppmv, а к концу XX в. она примерно равна 360 ppmv и

продолжает расти (рис. 9). Расчеты показывают, что при современном уровне эмиссии углекислого газа концентрация его в атмосфере будет неуклонно увеличиваться, достигнув 500 ppmv к концу XXI в. Стабилизация концентрации может быть достигнута только при значительном сокращении объема выбросов.

Рассмотрим причины наблюдаемого роста концентрации, основываясь на антропогенной части глобального биогеохимического цикла углерода.

Основной источник поступления углекислого газа в атмосферу – сжигание горючих ископаемых (угля, нефти, газа) для производства энергии. Около 80 % всей энергии в мире производится за счет тепловой энергетики. Поступление углекислого газа в атмосферу за период с 1860 по 1990 гг. увеличивалось в среднем на 0,4 % в год. В течение 1980-х гг. она составляла $5,5 \pm 0,5$ млрд т (гигатонн) углерода в год.

Сокращение лесов тропического и экваториального пояса, деградация почв, другие антропогенные трансформации ландшафтов приводят в основном к высвобождению углерода, которое сопровождается его окислением, то есть образованием $CO_2$. В целом эмиссия в атмосферу за счет преобразования тропических ландшафтов составляет $1,6 \pm 1,0$ млрд т углерода в год. С другой стороны, в умеренных и высоких широтах Северного полушария отмечается в целом преобладание восстановления лесов над их исчезновением. Для построения органического вещества лесов в процессе фотосинтеза углекислый газ забирается из атмосферы. Это количество, в пересчете на углерод, равно $0,5 \pm 0,5$ млрд т. Пределы точности, равные самой величине, указывают нам также на все еще весьма низкий уровень понимания антропогенной роли в некоторых звеньях глобального биогеохимического цикла углерода.

В атмосфере в результате деятельности человека ежегодно дополнительно накапливается $3,3 \pm 0,2$ млрд т углерода в виде углекислого газа.

Мировой океан поглощает из атмосферы (растворяет, химически и биологически связывает) около $2,0 \pm 0,8$ млрд тонн углерода в виде углекислого газа. Суммарные величины поглощения углекислого газа океаном пока непосредственно не измеряются. Они рассчитываются на основе моделей, описывающих обмен между атмосферой, поверхностным и глубинным слоями океана.

*Таблица 8*

**Глобальный баланс антропогенного углерода, млрд т за**

**год**

**Источники $CO_2$**

| **Поступление в атмосферу** | |
|---|---|
| (1) Поступление в атмосферу вследствие сжигания горючих ископаемых и производства цемента | 5,5±0,5 |
| (2) Поступление в атмосферу вследствие трансформации ландшафтов в тропической и экваториальной зонах | 1,6±1,0 |
| **Поглощение различными резервуарами** | |
| (3) Аккумуляция в атмосфере | 2,0±0,8 |
| (4) Аккумуляция Мировым океаном | 3,3±0,2 |
| (5) Аккумуляция в биомассе Северного полушария | 0,5±0,5 |
| (6) **Остаточный член баланса**, объясняемый поглощением $CO_2$ экосистемами суши (фертилизация и др.) = (1+2) - (3+4+5) | 1,3±1,5 |

Увеличение концентрации диоксида углерода в атмосфере должно стимулировать процесс фотосинтеза. Это так называемая фертилизация, благодаря которой продукция органического вещества, по некоторым оценкам, может возрасти на 20–40 % при удвоенной, по сравнению с современной, концентрацией углекислого газа. Исследования процесса фертилизации проводились пока только в лабораторных условиях. Глобальная оценка поглощения углекислого газа растительностью мира вследствие ее фертилизации на 1980-е гг. составляет 0,5–2,0 млрд т за год. В балансе антропогенных потоков углерода все пока еще плохо понимаемые процессы, протекающие в экосистемах суши, включая фертилизацию, оцениваются в 1,3 ± 1,5 млрд т.

Баланс антропогенного углерода за 1980–1989 гг., связанный с эмиссией, поглощением и изменением запасов углекислого газа, в млрд т за год представлен в табл. 8.

Как видим, невязка баланса значительна, и более глубокое ее объяснение – один из крупнейших, пока недостаточно решенных вопросов. По-видимому, необходимо более углубленное изучение режима антропогенного углерода как в Мировом океане и отдельных его частях, так и в экосистемах суши.

*Метан ($CH_4$)* также играет заметную роль в парниковом эффекте, составляющую приблизительно 19 % (на 1995 г.). Метан образуется в анаэробных условиях, таких как естественные болота разного типа, толща сезонной и вечной мерзлоты, рисовые плантации, свалки, а также в результате жизнедеятельности жвачных животных и термитов. Оценки показывают, что около 20 % суммарной эмиссии метана связаны с технологией использования горючих ископаемых (сжигание топлива, эмиссии из угольных шахт, добыча и распределение природного газа, переработка нефти). Всего антропогенная деятельность

обеспечивает 60–80 % суммарной эмиссии метана в атмосферу.

В атмосфере метан неустойчив. Он удаляется из нее вследствие взаимодействия с ионом гидроксила (OH) в тропосфере. Несмотря на этот процесс, концентрация метана в атмосфере увеличилась примерно вдвое по сравнению с доиндустриальным временем и продолжает расти со скоростью около 0,8 % в год.

Эмиссия метана с болот зоны избыточного увлажнения Северного полушария и из районов вечной мерзлоты весьма чувствительна к изменениям температуры и осадков. Измерения показывают, что рост температуры и увеличение увлажненности (то есть продолжительности нахождения территории в анаэробных условиях) еще более усиливают эмиссию метана. Это, между прочим, характерный пример положительной обратной связи. Наоборот, снижение уровня грунтовых вод из-за пониженной увлажненности должно приводить к уменьшению эмиссии метана (отрицательная обратная связь).

Текущая роль *оксида азота ($N_2O$)* в суммарном парниковом эффекте составляет всего около 6 %. Концентрация оксида азота в атмосфере также увеличивается. Предполагается, что его антропогенные источники приблизительно вдвое меньше естественных. Источниками антропогенного оксида азота является сельское хозяйство (в особенности пастбища в тропиках), сжигание биомассы и промышленность азотсодержащих веществ. Его относительный парниковый потенциал (в 290 раз выше потенциала угдекислого газа) и типичная продолжительность существования в атмосфере (120 лет) значительны, компенсируя его невысокую концентрацию.

*Хлорфторуглероды (ХФУ)* – это вещества, синтезируемые человеком и содержащие хлор, фтор и бром. Они обладают очень сильным относительным парниковым потенциалом и значительной продолжительностью жизни в атмосфере. Производство хлорфторуглеродов в мире в настоящее время контролируется международными соглашениями по защите озонового слоя, включающими и положение о постепенном снижении производства этих веществ, замене их на менее озоноразрушающие, с последующим полным его прекращением. В результате скорость накопления ХФУ в атмосфере замедлилась. *ХФУ разрушают озон в тропосфере,* и их итоговая роль в парниковом эффекте составляет, на середину 1990-х гг., приблизительно 7 %.

*Озон ($O_3$)* – важный парниковый газ, находящийся как в стратосфере, так и в тропосфере. Он влияет как на коротковолновую, так и на длинноволновую радиацию, и потому

итоговые направление и величина его вклада в радиационный баланс в сильной степени зависят от вертикального распределения содержания озона, в особенности на уровне тропопаузы, где надежных наблюдений пока недостаточно. Поэтому определение вклада озона в парниковый эффект сложнее по сравнению с хорошо перемешиваемыми газами. Оценки указывают на положительную результирующую (приблизительно $+0{,}4$ ватт/м$^2$).

### V.2.3. Воздействие тропосферных аэрозолей на парниковый эффект

Аэрозоли – это твердые частицы в атмосфере диаметром от $10^{-9}$ до $10^{-5}$ м, или от $10^{-3}$ до $10^{1}$ микрон (рм). Они образуются вследствие ветровой эрозии почвы, извержений вулканов и других природных процессов, а также благодаря деятельности человека (сжигание горючих ископаемых и биомассы).

Антропогенные аэрозоли двояко влияют на радиационный баланс Земли:

а) непосредственно, через поглощение и рассеивание солнечной радиации;

б) косвенно, так как аэрозоли действуют как ядра конденсации, играющие важную роль в образовании и развитии облаков, влияющих, в свою очередь, на радиационный баланс.

Существует много неопределенностей в понимании роли аэрозолей в парниковом эффекте из-за высокой региональной изменчивости их концентрации и химической композиции, при малом количестве непосредственных наблюдений. В целом можно сказать, что антропогенные аэрозоли снижают величину радиационного баланса, то есть несколько компенсируют антропогенный парниковый эффект. Вследствие роста содержания аэрозолей в воздухе за время начиная с 1850 г. их суммарный и осредненный для мира непосредственный антропогенный эффект равен примерно – 0,5 ватт/м$^2$, при примерно близкой величине его косвенного воздействия.

В отличие от парниковых газов, типичный срок существования аэрозолей в атмосфере не превышает нескольких дней. Поэтому их радиационный эффект быстро реагирует на изменения эмиссии загрязнений и столь же быстро прекращается.

В отличие от глобального воздействия газов с парниковым эффектом, эффект атмосферных аэрозолей является локальным. Географическое распространение сульфатных аэрозолей в воздухе в основном совпадает с промышленными районами мира. Именно там локальный охлаждающий эффект аэрозолей может

значительно уменьшить, и даже свести практически на нет глобальный парниковый эффект.

Извержения вулканов – нерегулярный, но существенный фактор образования высоких концентраций аэрозольных частиц, вызывающих рассеивание солнечной радиации и поэтому заметные похолодания. Катастрофический взрыв вулкана Тамбора в 1815 г. в Индонезии привел к заметному снижению температуры воздуха во всем мире в течение трех последующих лет. Извержение вулкана Пинатубо на Филиппинах в 1991 г., сопровождавшееся весьма значительным объемом выбросов пепла, с климатологической точки зрения – важнейшее извержение века. В течение первого года после извержения вулкана его радиационное воздействие было – 4 вт/м$^2$, после второго года – 1 вт/м$^2$. Соответствующее отклонение мировой температуры от средней было наибольшим в 1992 г. и составляло минус 0,4–0,6°. Таким образом, воздействие лишь одного извержения было сравнимо с глобальным парниковым эффектом за текущее столетие. Неудивительно, что когда в геологическом масштабе времени происходили значительные вулканические события, они очень сильно влияли на изменения глобального климата.

### V.2.4. Гидроклиматические последствия антропогенного парникового эффекта

Накопление парниковых газов в атмосфере и последующее усиление парникового эффекта приводит к повышению температуры приземного слоя воздуха и поверхности почвы. За последние сто лет средняя мировая температура повысилась приблизительно на 0,3–0,6 °C. В особенности заметный рост температуры происходил в последние годы, начиная с 1980-х гг., которые были самым теплым десятилетием за весь период инструментальных наблюдений. Анализ глобальных данных по температурам воздуха позволил впервые сделать научно обоснованный вывод о том, что наблюдаемый рост температуры обусловлен не только естественными колебаниями климата, но и деятельностью человека (IPCC, 1995). Можно полагать, что прогрессирующее антропогенное накопление парниковых газов в атмосфере приведет к дальнейшему усилению парникового эффекта. (Некоторые ученые полагают, что, наоборот, повышения температуры воздуха вызывают прогрессирующее накопление углекислого газа.)

Оценки ожидаемых изменений климата обычно производятся на основе использования глобальных моделей циркуляции

атмосферы. Это модели очень большой размерности, описывающие атмосферные процессы в узлах регулярной сетки с шагом 250–400 км по горизонтали и приблизительно на 10–20 уровнях в атмосфере и океане. Сложность моделей постоянно увеличивается по мере совершенствования технических качеств компьютеров и накопления новых данных наблюдений.

Однако точность моделей все еще не высока даже для расчетов на глобальном уровне. Прогноз же изменений по регионам мира, чрезвычайно важный для практических целей, пока еще вряд ли надежен. Кроме того, необходимо учитывать возможные изменения в деятельности человека, осознанные или неосознанные, приводящие к изменениям в накоплении парниковых газов, а значит, и к последующим изменениям парникового эффекта. Это учитывается посредством составления различных сценариев этих событий.

Оценка парникового эффекта и его влияния на природу, экономику и политику в мире выполняется многочисленным (несколько сотен ученых) международным коллективом специалистов, образовавших Межправительственный Комитет по изменению климата (Intergovernmental Panel on Climate Change). Результаты исследований опубликованы в 1991 и 1995 гг.

В связи с неопределенностью развития событий оценки производились на основе анализа ряда сценариев. В соответствии со сценарием наиболее вероятной величины эмиссии парниковых газов, средняя мировая температура приземного слоя воздуха за период с 1990 по 2100 гг. увеличится приблизительно на 2 °С. По сценариям низкой и высокой эмиссии, рост температуры составит соответственно 1 и 3,5 °С. В любом варианте потепление будет значительнее, чем все колебания климата в течение голоцена, то есть последних 10 000 лет, и будет очень серьезной проблемой для человечества.

Вследствие термической инерции океанов средняя температура воздуха будет повышаться и после 2100 г., даже если концентрация парниковых газов к этому времени стабилизируется.

Прогнозируемые изменения климата по регионам отличаются от средних глобальных, но надежность прогнозов регионального климата в основном невелика. При удвоении содержания углекислого газа в атмосфере по сравнению с доиндустриальным периодом, повышение температуры воздуха в различных регионах будет в пределах между 0,6 и 7 °С. Суша будет нагреваться больше, чем океаны. Наибольшее повышение температуры ожидается в арктических и субарктических поясах, в особенности зимой, в основном вследствие сокращения площади морского

льда.

Рост температуры воздуха будет сопровождаться увеличением количества осадков, хотя картина пространственного изменения распределения осадков будет более пестрой, чем распределение температуры воздуха. Вариация изменения осадков будет находиться в пределах от -35 до +50 %. Надежность оценки изменений влажности почвы, что столь важно для сельского хозяйства, также значительно ниже, чем оценки изменения температуры воздуха.

Очень важно также, что относительно небольшие изменения средних показателей климата будут, по всей вероятности, сопровождаться повышением частоты редких, обычно катастрофических событий, таких как тропические циклоны, штормы, засухи, экстремальные температуры воздуха и пр.

В последнее столетие происходил неуклонный рост среднего уровня Мирового океана, составивший 10–25 см. Основные причины роста уровня океана – термическое расширение воды вследствие ее нагревания из-за потепления климата, а также дополнительный приток воды вследствие сокращения горных и небольших полярных ледников. Эти же факторы будут работать и в дальнейшем, с постепенным подключением в более отдаленном будущем талых вод Гренландского, а затем и Антарктического ледниковых щитов. В соответствии со сценарием наиболее вероятного развития событий, ожидается, что уровень Мирового океана поднимется к 2100 г. на 50 см, а с учетом ошибок прирост уровня ожидается в пределах от 20 до 86 см. Сценарии для более значительного и менее значительного повышения температуры дают повышение среднего уровня на 95 и 15 см соответственно. Уровень океана будет продолжать расти с примерно подобной скоростью в течение нескольких столетий после 2100 г., даже если концентрация парниковых газов стабилизируется. Рост уровня океана вызовет серьезные естественные и социально-экономические проблемы в прибрежных зонах морей и океанов.

В больших многокомпонентных системах между временем наступления причины и следствия существует определенное запаздывание. Если эмиссия парниковых газов стабилизируется, то по прошествии интервала времени порядка от десятилетий до тысячелетий концентрация газов также стабилизируется. Глобальная система климата приходит в равновесие через десятки-сотни лет после стабилизации концентраций парниковых газов. Приведение уровня океана в соответствие с только что установившимся климатом требует столетий. На восстановление экологических систем нужны десятилетия и даже столетия, причем некоторые компоненты системы могут и совсем не

восстановиться (например, некоторые биологические виды). Очень высокая инерционность всех событий вызывает весьма большие трудности при разработке и осуществлении стратегий взаимодействия общества с изменяющимся климатом.

### V.2.5. Природные и социально-экономические последствия изменения климата

Начавшееся изменение климата окажет серьезнейшее влияние как на естественные, так и на социально-экономические процессы. Межправительственный комитет по изменению климата (IPCC) внимательно рассматривает возможные воздействия изменений, перспективы управления ими и стратегии приспособления к ним. Анализ проводится на основе альтернативных сценариев изменения населения, экономики и энергетики на период до 2100 г.

Были исследованы основные особенности природных и социально-экономических систем: их чувствительность (sensitivity), приспособляемость (adaptability) и уязвимость (vulnerability). Чувствительность – это показатель реакции системы на изменения климатических условий (например, изменения строения и функций экосистемы и ее первичной продуктивности в зависимости от заданного изменения температуры или осадков). Приспособляемость зависит от возможностей системы изменять ее режим, процессы, структуры и пр. в ответ на ожидаемые или уже наступившие климатические изменения. Уязвимость определяет степень ущерба, наносимого системе. Она во многом зависит от двух других показателей.

Недостаточность научного знания всей проблемы изменения климата приводит к значительной неопределенности как в понимании последствий, так и в разработке стратегий. В то же время бездействовать, ссылаясь на необходимость дальнейших научных исследований, это значит уходить от решения важнейшей общемировой проблемы. Политические руководители стран должны решать, до какой степени они вынуждены принять меры по сокращению эмиссий парниковых газов и до какой степени они могут рассчитывать на приспособительную способность систем, поражаемых изменением климата. Задержка в принятии этих мер может впоследствии поставить каждую из стран перед серьезными проблемами, разрешение которых может оказаться весьма дорогим.

Имея в виду, что неопределенность развития событий весьма велика, можно все же ожидать нижеследующие последствия.

*Изменения ландшафтов суши.* В средних широтах повышение

температуры на 1–3,5 °С за ближайшие сто лет будет эквивалентно смещению изотерм на 150–550 км по широте в сторону полюсов или на 150–550 м по высоте. Соответственно, начнется перемещение ландшафтов, подобные тем, которые происходили при значительных изменениях оледенения в четвертичный период. Флора и фауна отстанут от того климата, в котором они развивалась, и будут существовать в другом климатическом режиме. Скорость изменений климата будет, по-видимому, выше, чем способность некоторых видов приспосабливаться к новым условиям, и ряд видов может быть потерян. Могут исчезнуть некоторые типы лесов. Экосистемы не будут передвигаться вслед за климатическими условиями как нераздельная единица, их компоненты будут перемещаться с различной скоростью, в результате чего сформируются новые комбинации видов, то есть возникнут новые экосистемы и их наборы более высоких рангов. Леса умеренного пояса потеряют часть деревьев при сопутствующем увеличении эмиссии углекислого газа, образующегося при окислении отмирающей биомассы.

Пространственное приспособление экосистем к новым климатическим условиям, связанное с миграцией видов, будет осложняться антропогенными препятствиями, такими как поля, населенные пункты, дороги и пр.

Наибольшие изменения произойдут в арктическом и субарктическом поясах. Сократятся компоненты криосферы: морские льды, горные и небольшие покровные ледники, глубина и распространение вечной и сезонной мерзлоты, площадь и продолжительность залегания сезонного снежного покрова. Ландшафты сдвинутся в сторону полюса, при их значительной трансформации. Можно ожидать развития пока еще плохо предсказуемых обратных связей, которые могут привести к сюрпризам. Например, сокращение площади морских льдов может привести к снижению степени континентальности климата с последующим ростом ледников Арктики и Субарктики.

Пустыни станут еще более сухими вследствие более значительного повышения температуры воздуха по сравнению с осадками.

От трети до половины массы горных ледников растает, в то время как ледниковые покровы Антарктики и Гренландии в ближайшие сто лет практически не изменятся.

Частичная деградация вечной и сезонной мерзлоты повлияет на увеличение эмиссии углекислого газа и перестройку процессов эмиссии метана в атмосферу.

*Прибрежные морские системы* вследствие их разнообразия

будут по-разному реагировать на увеличение температуры воздуха и рост уровня океана. Следует заметить, что изменение уровня океана в конкретных точках побережья зависит от двух факторов: гидрометеорологических, которые определяют изменения объема океана и которые зависят от изменений климата, и тектонических, определяющих изменения формы его ложа. Зачастую добавляется и третий фактор: экзогенные геоморфологические процессы, такие как аккумуляция наносов в устьях рек или эрозия морских берегов. Наблюдавшийся за последнее столетие рост уровня в пределах от 10 до 25 см – это результат сложения трех факторов при ведущей роли гидрометеорологических факторов.

В прибрежной зоне живет более половины человечества. Поэтому проблемы последствий изменения климата добавятся к уже существующим проблемам, возникшим вследствие высокой и увеличивающейся антропогенной нагрузки на прибрежные системы. Некоторые прибрежные системы находятся в состоянии особого риска. Это мангровые системы, прибрежные засоленные болота, коралловые рифы и атоллы, речные дельты.

Дальнейший рост уровня с сопутствующим увеличением частоты и силы штормовых нагонов приведет к затоплению низко расположенных территорий, к разрушению берегов с угрозой сооружениям, на них находящимся, увеличению солености рек в их устьях и подземных вод, изменению условий транспорта наносов и растворенных веществ и многим другим, зачастую плохо предсказуемым последствиям. В особенности пострадают низкие острова и плоские побережья, в том числе многие крупные и сверхкрупные города. Могут возникнуть весьма значительные миграции населения с серьезными экономическими и политическими последствиями.

В настоящее время около 46 млн чел. подвержены риску затопления от морских штормов. При росте уровня океана на 1 м этот показатель возрастает до 118 млн чел. даже без учета ожидаемого прироста населения. Например, при средней высоте Бангладеш, равной 7 м над уровнем моря, при подъеме уровня воды на 1 м и при учете роста населения затоплению будет подвержено 17,5 % площади страны с 70 млн. жителей. Некоторые островные страны практически перестанут существовать.

*Океан.* Изменение климата может также воздействовать на изменения циркуляции вод океана, что, в свою очередь, повлияет на обилие питательных веществ, биологическую продуктивность, структуру и функции морских экосистем, с последующим воздействием на потоки углерода и, следовательно, на режим

парниковых газов, а потому и на климат.

*Водные ресурсы и их использование.* Изменения климата приведут к интенсификации глобального гидрологического цикла и заметным региональным изменениям, хотя конкретный региональный прогноз пока ненадежен. Относительно небольшие изменения климата могут вызвать нелинейные изменения суммарного испарения и влажности почвы, что приведет к относительно большим изменениям стока, в особенности в аридных районах. В отдельных случаях при росте средней температуры на 1–2 °С и сокращении осадков на 10 % средний годовой сток может сократиться на 40–70 %. Потребуются значительные капиталовложения для приспособления водохозяйственных систем к новым условиям. В особенности серьезные проблемы возникнут там, где водопотребление уже значительно или где велико загрязнение вод.

*Сельское хозяйство.* Изменение климата окажет серьезное влияние как вследствие непосредственного климатического воздействия на агроэкосистемы, так и из-за необходимости приспособления сельского хозяйства к новым условиям.

Воздействия на агроэкосистемы будут весьма сложными и неоднозначными. Вследствие увеличения концентрации углекислого газа несколько возрастут величины фотосинтеза и, возможно, урожай. В районах, где земледелие лимитируется притоком тепла (например, в России и Канаде), вероятность повышения урожая увеличится. В аридных и семиаридных районах, где оно ограничено наличием доступной для растений влаги, изменение климата отразится неблагоприятным образом. Потребности в воде для орошения найдут серьезную конкуренцию с другими потребителями водных ресурсов – промышленностью и коммунальным водоснабжением. Более высокие температуры воздуха будут способствовать ускорению естественного разложения органического вещества почвы, снижая ее плодородие. Вероятность распространения вредителей и болезней растений увеличится.

В целом, однако, ожидается, что общемировой уровень производства продуктов сельского хозяйства может быть сохранен, но региональные последствия будут варьироваться в широких пределах. На территории бывшего СССР ожидаемые урожаи пшеницы изменятся от -19 до +41 %. Вариации урожая пшеницы в Канаде и США будут очень значительными, от -100 до +234 %, а риса в Китае, например, от -78 до +28 %. Однако, уровень знания пока еще таков, что последующие оценки могут очень сильно отличаться от приводимых выше. В развивающихся районах мира возрастет риск голода. Общая картина мировой

торговли продуктами сельского хозяйства может существенно измениться.

Ожидаются также значительные изменения, касающиеся проблем *здоровья людей, энергетики, транспорта, промышленности* и многих других аспектов. Эти проблемы будут обсуждаться в последующих главах.

## V.2.6. Стратегии, связанные с проблемой изменения климата

Предстоящее изменение климата и его последствия – это крупнейшая проблема выживания человечества, требующая международного сотрудничества по скоординированным действиям каждой страны. Стратегия сотрудничества распадается на два основных компонента: управление и приспособление. При стратегии управления проблемой основные усилия направлены на снижение эмиссии парниковых газов, прежде всего углекислого газа. При осуществлении стратегии приспособления разрабатываются, например, комплексные проекты защиты конкретных прибрежных зон (систем) от растущего уровня моря.

Основной документ, регулирующий сотрудничество в области изменения климата, – Конвенция ООН по изменению климата, принятая в июне 1992 г. в Рио-де-Жанейро на Конференции ООН по окружающей среде и развитию. Конвенция следующим образом определяет понятие «изменение климата»: «Изменение климата, которое приписывается прямо или косвенно деятельности человека, изменяющей состав атмосферы Земли, в дополнение к естественным колебаниям климата, наблюдаемым за периоды времени сравнимой продолжительности». Основная задача Конвенции записана в ее Статье 2. Это «…стабилизация концентраций парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который предотвратил бы опасное антропогенное вмешательство в климатическую систему. Этот уровень должен быть достигнут в пределах времени, необходимого для естественной адаптации экосистем к изменениям климата, с тем чтобы не подвергнуть риску производство продовольствия и позволить продолжать экономическое развитие устойчивым образом».

В рамках Конвенции действуют механизмы переговоров и консультаций, конкретизирующих выполнение общей задачи. Механизмом всестороннего научного понимания проблемы изменения климата в целях разработки рекомендаций по стратегии является Межправительственный Комитет по изменению климата (Intergovernmental Panel on Climate Change), объединяющий по меньшей мере несколько сотен ведущих специалистов мира. Межправительственный Комитет

вырабатывает рекомендации по стратегии, но решения все же остаются за правительствами.

Отчеты Межправительственного Комитета указывают на следующие главнейшие трудности проблемы изменения климата, стоящие перед правительствами:

– проблема содержит много неопределенностей, причем они неизбежны вследствие сложности проблемы;

– уровень затрат, или же невосполнимых потерь, может быть очень высок;

– период планирования чрезвычайно продолжителен;

– сдвиг во времени между эмиссиями парниковых газов и их последствиями весьма велик;

– региональные вариации последствий очень велики, но очень плохо предсказуемы;

– проблема может решаться только на глобальном уровне и только при условии общемирового сотрудничества, что не так просто;

– необходимо рассматривать стратегии по отношению ко многим парниковым газам и аэрозолям.

## V.3. Деградация озонового слоя

Максимальная концентрация озона сосредоточена в тропосфере на высотах 15–30 км, где существует так называемый озоновый слой. При нормальном, приземном давлении весь атмосферный озон образовал бы слой всего 3 мм толщиной. Для сравнения отметим, что толщина озона атмосферы при этих условиях была бы равна 8,3 км.

Озоновый слой тоньше в экваториальных районах и толще в полярных. Он отличается значительной изменчивостью во времени и по территории (до 20 %) вследствие колебаний солнечной радиации и циркуляции атмосферы, что маскирует антропогенные воздействия.

Даже при столь малой мощности озоновый слой в стратосфере играет очень важную роль, защищая живые организмы Земли от вредного и даже губительного воздействия ультрафиолетовой радиации Солнца (UV). Озон поглощает ее жесткую часть, UVC, с длинами волн 100–280 нм (нанометров, или $10^{-9}$ м) и большую часть менее энергичной, но также опасной UVB радиации с длинами волн 280–315 нм. Менее активная часть спектра ультрафиолетовой радиации (более длинноволновая часть UVB и вся UVA с длинами волн 315–400 нм) озоном не абсорбируется и проникает в тропосферу (рис. 10).

С воздействием жесткой ультрафиолетовой радиации связаны

неизлечимые формы рака кожи, болезни глаз, нарушения иммунной системы людей, неблагоприятные воздействия на жизнедеятельность планктона в океане, снижение урожая зерновых и другие экологические последствия.

Молекула озона ($O_3$) состоит из трех атомов кислорода. Озон в стратосфере образуется в результате фотохимической диссоциации молекулярного кислорода под воздействием солнечной радиации с длиной волны менее 240 nm ($hl < 240$ nm). Этот процесс образует два атома кислорода, снова соединяющихся в молекулу, и две молекулы озона из трех молекул кислорода:

$$O_2 + h\lambda \rightarrow O + O$$
$$2\,[O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M],$$

где *M* – любая молекула (обычно азота или кислорода), у носящая из реакции избыток энергии.

Поскольку кислород в атмосфере представлен почти исключительно как $O_2$, ясно, что должны существовать процессы, реконвертирующие основную часть $O_3$ в $O_2$:

$$X + O_3 \rightarrow XO + O_2$$
$$0_3 + h\lambda \rightarrow O + O_2$$
$$O + XO \rightarrow X + O_2$$

В итоге этой серии реакций две молекулы озона преобразуются в три молекулы кислорода. Здесь *X* и XO – это атомы или молекулы, катализирующие превращение озона в кислород. Голландский геохимик Пауль Крутцен в 1970 г. показал, что в естественных условиях наиболее важными катализаторами являются оксиды азота (NO и $NO_2$). В свою очередь, они образуются вследствие окисления нитрита кислорода ($N_2O$), происходящего на суше и в океанах главным образом вследствие естественных микробиологических процессов денитрификации или нитрификации. Тропические леса являются важным источником нитрита азота.

Напомним, что нитрит азота это также и газ, отличающийся заметным парниковым эффектом. В настоящее время деятельность человека (использование азотных удобрений, сжигание горючих ископаемых для производства энергии, преобразование ландшафтов, обычно сопровождающееся сжиганием биомассы и пр.) обеспечивает примерно 30–40 % от естественной эмиссии нитрита азота, и эта доля продолжает увеличиваться.

Предполагается, что жизнь на Земле возникла после

образования в атмосфере Земли озонового слоя, когда сформировалась ее надежная защита. Понятно поэтому современное беспокойство за состояние озонового слоя. Основания для беспокойства имеются. Еще в 1974 г. американские геохимики Ш. Роуланд и М. Молина пришли к выводу о том, что возрастающее производство и применение хлорфторуглеродов (фреонов), ранее не существовавших в природе, неизбежно приведет к прогрессирующей деградации озонового слоя.

Семейство хлорфтор(бром)углеродов (ХФУ) насчитывает ряд сравнительно недорогих синтезируемых веществ. Более десятка из них нашли широкое применение как хладоносители (фреоны) в холодильниках и кондиционерах воздуха, а также в качестве растворителей, пенообразователей, распылителей (аэрозолей) в различных областях индустрии. ХФУ отличаются малой химической активностью и потому высокой продолжительностью существования в атмосфере. Эти свойства оказались вредными, когда стало ясно, что они играют решающую роль в разрушении озонового слоя.

Хлорфторуглероды представляют собой группу органических веществ, в которых все атомы водорода замещены на комбинацию атомов хлора, фтора и брома. Они чрезвычайно устойчивы в тропосфере, и потому по мере роста их использования происходило повышение их концентрации со скоростью до 5–6% в год. Со временем эти газообразные вещества перемещаются в стратосферу. На высоте около 25 км вследствие более высокой, чем в приземном слое, интенсивности солнечной радиации происходит их разрушение с выделением атомов хлора (Cl) и молекул моноксида хлора (ClO), которые являются более сильными катализаторами процесса разрушения молекул озона, чем оксиды азота:

$$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2$$
$$ClO + O \rightarrow Cl + O_2$$

При этом процессе каждый атом хлора может разрушить $10^5$ молекул озона. Подобные реакции происходят и при участии атомов и соединений брома.

Приведенные выше химические реакции весьма схематично отражают процесс деградации озонового слоя. На самом деле такая деградация есть следствие нескольких сотен химических реакций в атмосфере, часть которых протекает с запаздыванием в 10–15 лет по сравнению со временем поступления данного вещества в атмосферу.

Расчеты демонстрируют весьма значительные

неблагоприятные последствия деградации озонового слоя. Предположительно, потери озона достигнут 6–7% от его первоначального количества, что будет соответствовать увеличению среднего годового количества биологически вредной части УФ радиации на 6-12 %. Поэтому ожидается, например, что в США к середине XXI века будет на 100 000 больше случаев заболевания раком кожи по сравнению с 1960 г., а общее дополнительное количество заболевших достигнет трех миллионов.

Предупреждение Роуланда и Молины о грядушем разрушении озонового слоя с серьезнейшими последствиями для человечества хотя и было замечено как специалистами, так и политиками, но не вызвало солидных, согласованных действий на международном уровне. Вяло текли переговоры о подготовке международной конвенции по защите озонового слоя, которая в конце концов была заключена в Вене в 1985 г. Венская конвенция явилась фактически декларацией о необходимости международного сотрудничества в этой области, но не действенным инструментом для решения проблемы.

Однако в 1984 г. английским исследователем Д. Фарманом была обнаружена над Антарктидой область, соизмеримая со всем континентом, где содержание озона в атмосфере в октябре-ноябре было до 40 % ниже, чем в среднем (рис. 10). Это означало увеличение ультрафиолетовой радиации, достигающей земной поверхности в границах Антарктиды, приблизительно в десять раз по сравнению с обычным распределением УФР. Озоновая дыра над Антарктидой стала тревожным сигналом общепланетарного неблагополучия экосферы, требующего серьезного внимания всех стран мира.

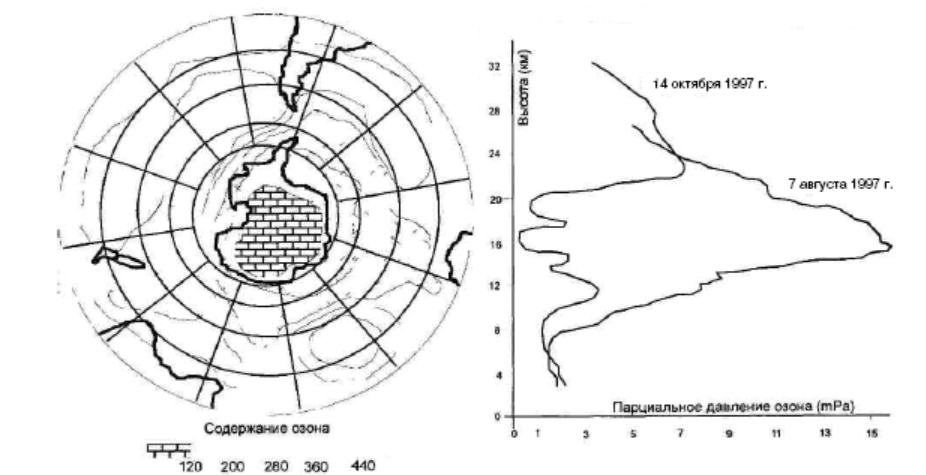
Содержание озона
120 200 280 360 440
Высота (км)
32 28 24 20 16 12 8 4 0
14 октября 1997 г.
7 августа 1997 г.
Парциальное давление озона (mPa)
0 1 3 5 7 9 11 13 15

**Рис. 10. Содержание озона в атмосфере над Антарктидой. Слева – распределение суммарной концентрации озона весной Южного полушария. Справа – распределение концентрации озона в «нормальных» условиях (в августе) и при развитой «озоновой дыре» (в октябре)**

Поэтому вскоре, в 1988 г., был подписан Монреальский протокол к Конвенции по защите озонового слоя, предусматривающий постепенное сокращение производства и употребления хлорфторуглеродов. Это был первый пример такого международного сотрудничества, которое направлено на решение будущей, только еще возникающей природно-антропогенной проблемы. Такое сотрудничество предполагает и значительные экономические вложения, потому что действия по защите озонового слоя означают также перестройку многих технологических процессов, при которых используются ХФУ.

В дальнейшем, после Монреаля, принимались дополнительные международные решения, связанные с еще более быстрым сокращением производства хлорфторуглеродов. Эти химические вещества отличаются, однако, продолжительным существованием в атмосфере, и поэтому, даже при соблюдении всеми странами принятых обязательств, проблема угрозы состоянию озонового слоя будет существовать по крайней мере в течение нескольких десятилетий.

Вследствие деятельности человека с конца 1960-х гг. до 1995 г. озоновый слой потерял около 5 % массы. Ожидается, что максимум потерь стратосферного озона будет достигнут к концу XX в., с последующим постепенным восстановлением в течение первой половины XXI века. Антарктическая «озоновая дыра» формируется ежегодно в сентябре-октябре. В настоящее время в октябре среднее содержание озона на 50–70 % меньше, чем в 1960-х гг. Во время развития «дыры» величина ультрафиолетовой радиации в Антарктиде на широте 64° ю. ш. больше летнего максимума в Сан-Диего (Калифорния) на широте 32° с. ш. Иными словами, антропогенное распределение озона начало превалировать над его природным распределением. Подобные, менее устойчивые «дыры» были обнаружены позднее и в других районах мира. Статистически значимые потери общего озона наблюдаются и в средних широтах обоих полушарий. В экваториальном поясе (20° с. ш. – 20° ю. ш.) значительного снижения содержания озона не отмечено.

Вследствие высокого парникового эффекта хлорфторуглеродов эти вещества вносят и будут продолжать вносить заметный вклад в изменение климата в течение

значительного времени.

Вследствие антропогенной деятельности в нижних слоях атмосферы накапливается тропосферный озон, значительный загрязнитель атмосферы и активный парниковый газ. Его территориальное распределение очень изменчиво, а масса составляет не более 10 % массы стратосферного озона. Под воздействием солнечной радиации оксиды азота, выделяемые главным образом автомобильным транспортом, распадаются с выделением озона. Образуется так называемый фотохимический смог, опасный для здоровья человека и наносящий серьезный ущерб растениям, в том числе сельскохозяйственным культурам. Выражение «смог» – это комбинация двух английских слов: smoke – дым и fog – туман. Это явление проявилось уже в середине 1940-х гг. в Лос-Анджелесе, где жизнь людей была практически невозможна без личного автомобильного транспорта, а общественного транспорта не существовало.

Исследования проблемы озонового слоя получили заслуженно высокую оценку. В 1995 г. Шервуд Роуланд, Марио Молина и Пауль Крутцен за исследования химических процессов в экосфере, связанных с озоновым слоем, были удостоены Нобелевской премии по химии. Это первая Нобелевская премия за исследования проблем геоэкологии.

## V.4. Асидификация экосферы и кислотные осадки

Асидификация – это антропогенный природный процесс повышения кислотной реакции компонентов экосферы, прежде всего атмосферы, гидросферы и педосферы, а также и усиления воздействия повышенной кислотности на другие природные явления. Кислотные осадки известны еще с середины прошлого века, когда в районе Манчестера (Англия) Роберт Ангус Смит измерил их кислотность и в результате назвал их кислотными дождями. Затем, более 50 лет тому назад, в Скандинавии возникла проблема асидификации внутренних вод суши, в особенности озер. В последующие годы стало больше известно о воздействии кислотных компонентов на ухудшение состояния почв и о влиянии увеличивающейся кислотности на биологические компоненты ландшафтов суши. Одновременно увеличивались и еще будут расти площади мира, подверженные процессу повышения кислотности. Так локальное явление кислотных осадков в небольшом старопромышленном районе Англии превратилось в глобальную проблему асидификации.

В естественных условиях атмосферные осадки обычно имеют нейтральную или слабо кислую реакцию, то есть показатель их

кислотности/щелочности обычно меньше 7,0 (pH < 7). В присутствии углекислого газа и при температуре 20 °C дождевая вода имеет pH равный 5,6. В присутствии других природных газов pH дождевой воды снижается примерно до 5,0. Однако, часто случается выпадение атмосферных осадков, имеющих значительно более кислую реакцию. Кислотная реакция осадков может быть в 10 раз больше (то есть pH = 4), и даже временами, в очень загрязненных районах, она может достигать 3,5. Принято, что кислотные осадки (или «кислотные дожди») – это осадки с pH < 5.

Кислотные осадки бывают двух типов: сухие, обычно выпадающие невдалеке от источника их поступления в атмосферу, и влажные (дождь, снег и пр.), распространяющиеся на большие расстояния, соизмеримые с размерами континентов и потому зачастую превращающие проблему кислотных осадков в международную.

Основные компоненты кислотных осадков – аэрозоли оксидов серы и азота ($SO_K$ и $NO_x$), которые при взаимодействии с атмосферной, гидросферной или почвенной влагой образуют серную, азотную и другие кислоты. Аммиак ($NH_3$) – еще один основной компонент кислотных осадков.

Кислотные осадки имеют как естественное, так и антропогенное происхождение. Основные природные источники – извержения вулканов, лесные пожары, дефляция почв и др. Источниками антропогенных кислотных осадков являются процессы сжигания горючих ископаемых, главным образом угля, в тепловых электростанциях, в котельных, в металлургии, нефтехимической промышленности, на транспорте и пр. Пока основным источником энергии остаются горючие ископаемые, в целом для мира доля антропогенных источников будет неуклонно увеличиваться, ухудшая состояние атмосферы, а через нее и экосферы в целом. Напомним, что тепловая энергетика также и источник эмиссии углекислого газа, главного фактора глобального изменения климата.

В настоящее время антропогенная эмиссия кислотных соединений для мира в целом превышает их суммарные естественные выбросы, а в Северном полушарии это соотношение достигает 90:10. В 1990 г. антропогенная эмиссия диоксида серы в атмосферу втрое превышала природные выбросы (соответственно 75 и 25 тераграмм в год). Эмиссия азота только вследствие сжигания горючих ископаемых более чем вдвое превысила основные природные выбросы.

Другой источник кислотных соединений – сельское хозяйство. В настоящее время естественная фиксация соединений

азота в процессе построения растительной массы уже не в состоянии обеспечить потребности земледелия в этом биогенном элементе. Приходится увеличивать использование азотных удобрений и расширять площади под бобовыми и рисом, поскольку эти культуры обладают азот-фиксирующими свойствами. Часть азотных соединений при этом уходит в окружающую среду.

Вследствие широкого использования ископаемого топлива в Европе и Северной Америке, эти территории выбрасывают в атмосферу около 70 % общемирового объема веществ, образующих антропогенные кислотные осадки, при населении, составляющем только 14 % населения мира. Основные области распространения кислотных осадков – промышленные районы (Северная Америка, Западная Европа, Япония, Корея и Китай, промышленные узлы в России, отдельные пятна в развивающихся странах). Доля развивающихся стран в распространении кислотных осадков постоянно нарастает и будет еще увеличиваться. В особенности заметным будет усиление асидификации в Азии.

Рис. 11 четко иллюстрирует рост среднегодового содержания сульфатов в атмосферных осадках Европы.

По состоянию на начало 1990 гг., вклад России в глобальную эмиссию диоксида серы составляет 12 %, оксидов азота – 6 %. Вклад США составляет соответственно 21 % и 20 %. Суммарное поступление оксидов азота на единицу площади США в 11 раз больше, чем в России, а диоксида серы – в три раза. Эти цифры не говорят о хорошей экологической ситуации в России, они лишь указывают на то, что экологическая нагрузка по кислотным выпадениям в США относительно выше, чем в нашей стране.

На территории России фоновое загрязнение оксидами серы и азота отмечается практически повсеместно, в особенности в Европейской части России. До начала экономической депрессии средняя за год величина выпадения серы на Европейской части России составляла 1 т/км$^2$, азота – 0,6 т/км$^2$. При этом около 20 % приносилось из Европы через западную границу СССР. Вследствие экономической депрессии, к 1993 г. выпадения серы на территории России сократились на 27 %, азота – на 11 %. Однако сохранились значительные территории с повышенным уровнем кислотности осадков (запад и центр Европейской части России, Урал, Кольский полуостров, Кузбасс и др.).

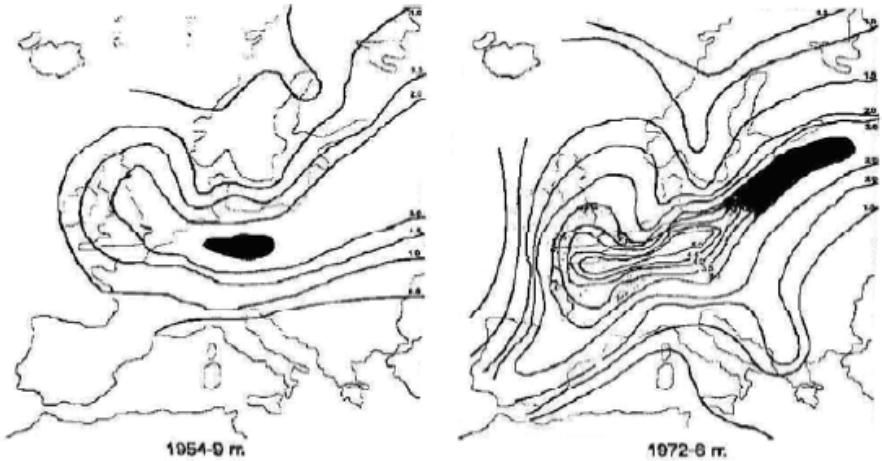


**Рис. 11. Увеличение содержания сульфатов в атмосферных осадках, выпадающих над Западной и Центральной Европой в мг серы/л**

Внутри этих территорий имеются значительные площади, где выпадает более 3 т серы (до 5 т) и 1 т азота на 1 км$^2$ в год. В России весьма велика эмиссия пылевых частиц, играющих роль ядер конденсации при образовании сульфатных аэрозолей, то есть, по сути дела, серной кислоты.

Так же как изменение климата тесно взаимосвязано с антропогенными воздействиями на глобальный биогеохимический цикл углерода, так кислотные осадки и асидификация – это проявление антропогенных изменений глобальных биогеохимических циклов азота и серы.

Вероятно, азотный цикл изменен человеком в наибольшей степени по сравнению с другими циклами. Деятельность человека включает в глобальный цикл азота около 140 тераграмм (млрд тонн) азота в год. Это больше, чем суммарное поступление из естественных источников. При этом 80 тг возникает в виде производимых промышленностью азотных удобрений, 40 тг образуется вследствие посевов бобовых и риса и 20 тг – вследствие сжигания горючих ископаемых в процессе производства энергии. Из этого количества приблизительно 80 тг выбрасывается в атмосферу. Из поступающих в атмосферу 80 тг N/год на континенты выпадает около 60 тг N/год и около 20 тг N/год отлагается на поверхность океанов. Побережья морей получают со стоком рек еще 40 тг N/год.

Таким образом, из 140 тг N/год формирующегося атмосферного азота океаны получают около 60 тг N/год. Более высокое содержание азота отмечается в прибрежных зонах морей

умеренного пояса, что приводит к развитию микроскопических водорослей, с возникающим иногда бурным их цветением, за которым следует разложение водорослей с иногда полным поглощением из воды растворенного кислорода. К этому явлению, называемому эвтрофикация, мы еще вернемся в главе, посвященной гидросфере.

Подавляющая часть остающихся 80 тг N/год аккумулируется на континентах, заметно влияя на процессы на суше. Например, леса во многих частях мира получают фактически дополнительное количество азотных удобрений, с неизвестными пока последствиями, в частности, на накопление или расходование биомассы (то есть углерода). Наряду с этим, азотные соединения на суше распадаются в процессе денитрификации, и образующийся газ ($N_2$) попадает снова в атмосферу. Относительно точные величины и соотношения антропогенной аккумуляции азота и денитрификации пока неизвестны.

Антропогенный общемировой поток серы составляет около 150 тг (млрд тонн) в год. Главная причина эмиссии – сжигание горючих ископаемых, обычно имеющих заметные примеси серы, в процессе производства энергии. Из атмосферы сера примерно в одинаковых объемах попадает на сушу и океаны. Часть, попадающая на сушу, или взаимодействует с почвами и растительностью, или смывается в океан. Оценки антропогенного стока серы в океаны различаются вдвое (50–90 тг S/год).

Антропогенные соединения азота и серы повышают, иногда значительно, степень кислотности атмосферы и экосистем. Это приводит к значительным изменениям состояния почв, лесов, подземных вод, озер, рек, а также неблагоприятно воздействует на инженерные сооружения.

Накопление антропогенной серы и азота в экосфере не только приводит к значительной и широко распространенной асидификации, но также во все усиливающейся степени влияет на радиационный баланс Земли, глобальный баланс питательных веществ (биогенов) и окисляющую способность тропосферы.

При оценке реального воздействия кислотных осадков на ландшафты и их компоненты необходимо сравнивать величины осадков с буферной способностью почв и почвообразующих пород. В целом в зонах недостаточного увлажнения кислотные осадки нейтрализуются и потому серьезной проблемы не представляют. Наоборот, в зонах избыточного увлажнения, в особенности на Канадском и Финноскандинавском кристаллических щитах, воздействие кислотных осадков на почвы, леса, водные объекты сказывается наиболее

неблагоприятным образом (рис. 12).

Кислотные осадки играют решающую роль в резком увеличении подвижности в ландшафте алюминия, высоко токсичного для живых существ. Нижеследующая цепочка на первый взгляд не связанных событий приводит к внезапному вымыванию алюминия из почв вследствие медленного и постепенного изменения буферной способности почв снижать кислотность:

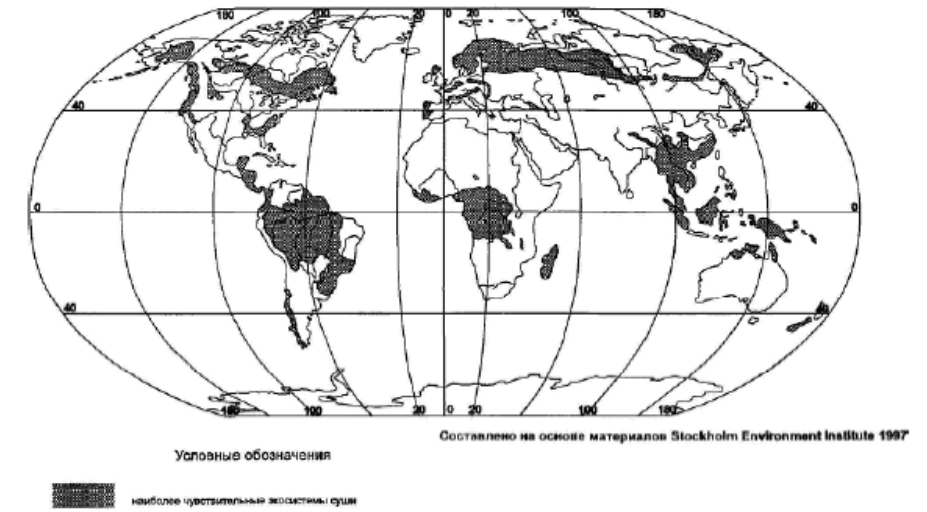
Составлено на основе материалов Stockholm Environment Institute 1997
Условные обозначения
наиболее чувствительные экосистемы суши

**Рис. 12. Потенциальная чувствительность экосистем суши к кислотным осадкам**

а) в естественном состоянии алюминий в лесных почвах неподвижен, если pH почвы превышает 4,2. Его подвижность резко увеличивается, когда pH становится меньше 4,2;

б) атмосферные осадки начинают подкислять почвы, но процесс замедлен, потому что почвы содержат основные катионы, играющие буферную роль в снижении кислотности;

в) однако, как только буферная способность почв израсходована, pH почв резко снижается;

г) при пороговой величине pH равной 4,2 алюминий начинает вымываться из почвы, попадает в гидрографическую сеть, накапливаясь в воде озер;

д) проявляются неблагоприятные последствия, такие как гибель рыбы или ущерб лесу.

Почвы с низкой первоначальной буферной способностью, получающие к тому же значительное количество кислотных осадков, быстрее асидифицируются и отдают алюминий по сравнению с почвами, отличающимися высокой буферной

способностью и(или) получающими меньше кислотных выпадений. Восстановление буферной способности почв происходит благодаря выветриванию горных пород, содержащих основные ионы, нейтрализующие кислотность. Но в районах со значительными кислотными осадками скорость выветривания не поспевает за скоростью асидификации.

Лесные почвы Центральной Европы (Германия, Польша, Чешская Республика, Словакия, Нидерланды, Бельгия, Англия и др.) отличались высокой потенциальной способностью противостоять асидификации. Однако, они подвергались воздействию кислотных осадков с начала промышленной революции, то есть в течение 200 лет, потеряли буферную способность и предрасположены к дальнейшей асидификации. Пространственные модели распространения асидификации наглядно демонстрируют ее усиление в ближайшие десятилетия.

Экосистемы, расположенные на кристаллических щитах, отличаются повышенной кислотной реакцией и низкой буферностью. Почвы Скандинавии, имеющие низкую буферную способность, асидифицировались раньше почв Центральной Европы, несмотря на меньшую кислотную нагрузку.

При относительно небольшом уровне загрязнения воздуха высокие и сверхвысокие трубы тепловых электростанций и промышленных предприятий способствуют дисперсии поллютантов и снижению концентрации загрязняющих веществ вблизи источника выбросов. Однако они не решают проблему при большой плотности источников загрязнения. К тому же высокие трубы способствуют разносу кислотных осадков на большие расстояния. Ясно, что проблема из локальной превратилась в региональную, требующую междунароного сотрудничества.

Поскольку главный антропогенный источник кислотных осадков – это тепловая энергетика, то основной путь контроля кислотных осадков – снижение эмиссии оксидов серы и азота посредством таких технологических приемов, как использование менее загрязняющего топлива благодаря промывке измельченного угля перед его сжиганием, понижение температуры сжигания угля, извлечение серы из отходящих газов и т. п. Однако, все эти приемы повышают стоимость производимой энергии. Другой, принципиально иной путь – экономия в использовании энергии.

Поскольку кислотные осадки переносятся на значительные расстояния, возникает необходимость в международном сотрудничестве в этой области. С этой целью в 1979 г. заключена европейская (с участием США и Канады) Конвенция по трансграничному переносу загрязнений воздуха, к которой

впоследствии добавился ряд протоколов по сокращению эмиссий оксидов серы и азота. В процессе выполнения Конвенции достигнуты значительные успехи в снижении асидификации. В большей степени успехи относятся к соединениям серы, в меньшей – к соединениям азота.

## V.5. Локальное загрязнение воздуха

Выше уже говорилось, что геоэкологические проблемы могут иметь или глобальный, или универсальный характер. Первые охватывают всю Землю или, по крайней мере, имеют размеры, соизмеримые с океанами или континентами. Вторые многократно повторяются во многих точках или небольших территориях мира. Загрязнение воздуха – пример проблемы универсальной, встречающейся как чрезвычайно серьезная локальная проблема во многих местах мира.

Фоновое загрязнение воздуха охватывает площади, соизмеримые с площадью континентов или всего мира. Оно связано с поллютантами, отличающимися относительно продолжительным временем жизни в атмосфере. К ним относятся парниковые газы, оксиды азота и серы и некоторые другие вещества. Рост их концентрации в атмосфере свидетельствует о том, что естественный экологический баланс нарушен, и природная поглотительная емкость атмосферы исчерпана.

На фоновое загрязнение воздуха наложены крупные пятна локального загрязнения. Это в основном проблема больших городов и крупных промышленных предприятий и узлов. Она возникла как одна из первых экологических проблем в промышленно развитых странах, где достигла своего пика приблизительно в 1960-х гг. С тех пор благодаря осуществляемым целенаправленным стратегиям качество воздуха в городах Западной Европы, Северной Америки и Японии в целом улучшилось.

Практически во всех больших городах развивающихся стран качество воздуха весьма низкое и продолжает ухудшаться. Это одна из важнейших проблем, влияющая на здоровье людей и состояние городских и пригородных экосистем. Приблизительные расчеты, например, показывают, что вдыхание вредных веществ за сутки пребывания человека в воздухе Мехико, одного из самых крупных городов мира, эквивалентно выкуриванию двух пачек сигарет.

В России очень высокое загрязнение атмосферного воздуха (превышение допустимого уровня в 10 раз) в 1993 г. наблюдалось в 86 городах, а превышение допустимых концентраций по одной

или нескольким примесям отмечалось в 231 городе. В последующие годы уровень загрязнения воздуха в целом снизился вследствие сокращения промышленного производства, но в ряде городов средние концентрации различных примесей возросли вследствие неритмичности работы предприятий и залповых сбросов загрязнений, а также роста числа частных автомобилей.

Основными источниками загрязнения воздуха являются теплоэнергетика, черная и цветная металлургия, химическая промышленность, транспорт, нефте– и газопереработка. В 150 городах России объем выбросов транспорта превышал объем выбросов промышленных предприятий. В Москве выбросы от работы транспорта составляли в 1993–1997 гг. 70–80 % общего объема выбросов.

Каждый индустриальный источник загрязнения выделяет в воздух десятки тысяч веществ. Из них основные – это пыль, зола, оксиды серы, азота, углерода, соединения тяжелых металлов, углеводороды, озон, органические вещества и др. Вот как они распределяются по некоторым основным группам предприятий-загрязнителей:

• теплоэнергетика: оксиды углерода, серы и азота, пыль, тяжелые металлы;

• транспорт: оксиды углерода и азота, углеводороды, тяжелые металлы;

• черная металлургия: пыль, диоксид серы, фтористые газы, металлы;

• нефтепереработка: углеводороды, сероводород, дурнопахнущие газы;

• производство цемента: пыль.

Последствия локального загрязнения воздуха столь же многообразны, как и загрязнители. По статистике, собранной в США, в городах с высоким загрязнением воздуха заболеваемость выше на 15–17 %. Есть все основания полагать, что этот показатель для ряда городов России еще хуже. В экосистемах городов и прилегающих территорий накапливаются вредные вещества (например, тяжелые металлы), а растительность трансформирована или угнетена. Радиус зоны вредных воздействий достигает нескольких десятков километров. Например, вокруг Норильска растительность погибла или чрезвычайно сильно трансформирована на расстоянии до 100 км от города. Подобная ситуация характерна для центров цветной металлургии Кольского полуострова.

Выбросы загрязнителей в атмосферу в России, приходящиеся на единицу валового национального продукта, превышают соответствующие показатели западных стран. Это указывает на

устаревшие технологии, изношенное оборудование и низкую эффективность очистных установок, если они вообще существуют и действуют.

Регулярный государственный учет выбросов загрязняющих веществ, оказывающих вредное воздействие на здоровье человека и окружающую среду, в атмосферный воздух ведется на 18000 предприятий России. Кроме того, Роскомгидромет измерял концентрации вредных веществ в воздухе почти всех городов России с населением более 100 тыс. жителей.

Основными направлениями защиты воздушного бассейна являются:

а) санитарно-технические мероприятия (строительство сверхвысоких труб, установка газопылеочистного оборудования, герметизация производственных процессов и др.). Основная масса очищаемых и улавливаемых веществ – твердые частицы. В России во многих «грязных» отраслях (энергетика, черная и цветная металлургия, химия и пр.) улавливается до 90 % пылевых частиц, но уровень очистки от газообразных веществ пока не превышает 30 %;

б) технологические мероприятия (внедрение малоотходных или безотходных технологий, соответствующая подготовка сырья, замена сухих технологических способов на мокрые и т. п.);

в) пространственно-планировочные мероприятия (выделение санитарно-защитных зон, планировка городской и промышленной застройки в соответствии с преобладающими ветрами, озеленение и пр.);

г) контрольно-запретительные мероприятия (введение величин предельно допустимых концентраций веществ и предельно допустимых выбросов в окружающую среду, запрещение производства отдельных веществ, временная приостановка загрязняющей деятельности, мониторинг загрязнения воздуха).

В ряде стран, а также во Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) утверждены стандарты, ограничивающие допустимые уровни загрязнения. В России основным показателем, используемым для контроля качества воздуха, являются предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе (ПДК). Используются два типа ПДК: в воздухе рабочей зоны ($ПДК_{р.з.}$) и в атмосферном воздухе населенного пункта ($ПДК_{а.в.}$). $ПДК_{а.в.}$ – это максимальная концентрация примеси в атмосфере, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него вредного влияния, включая отдаленные последствия, и не оказывает вредного влияния на

окружающую среду в целом.

Во многих случаях содержание вредных веществ на выходе из трубы превышает величины ПДК, но вследствие турбулентности атмосферы происходит перемешивание и рассеивание примесей и их содержание на уровне земли может оказаться ниже ПДК. Поэтому для управления качеством воздуха используется норматив, называемый предельно допустимым выбросом (ПДВ) и устанавливаемый с таким расчетом, чтобы концентрация загрязняющих веществ в приземном слое воздуха не превышала нормативов качества воздуха для населения, а также для растений и животных. Если концентрация примесей все же больше, чем ПДК, и снижение ПДВ до требуемых значений не может быть обеспечено по объективным (например, технологическим) причинам, то устанавливаются временно согласованные выбросы (ВСВ).

Повседневное управление качеством воздуха – дорогой процесс. Можно сказать, что текущие затраты значительно превышают капитальные вложения в охрану атмосферы (иногда до соотношения 4:1). Принципиальный путь – внедрение малоотходных технологий, иными словами, предотвращение загрязнений, а не очистка от них на заключительном этапе производства.

* * *

Несмотря на весьма сложные геоэкологические процессы, связанные с деятельностью человека в атмосфере, все же не будет ошибкой сказать, что из систем четырех основных геосфер (атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы) простейшая – это атмосфера. Под сложностью (или простотой) понимается количество связей и компонентов, присущее данной геосфере. В атмосфере развились кризисные ситуации общемирового значения, обсуждавшиеся выше, возможно, потому, что чувствительность атмосферы к антропогенным воздействиям наивысшая. Если это так, то еще более сложные, но менее сформулированные геоэкологические проблемы можно ожидать в более сложных геосферах, в особенности в биосфере.

# VI. Гидросфера. Влияние деятельности человека

## VI.I. Основные особенности гидросферы [4]

Гидросфера – водная оболочка Земли, представляющая совокупность всех водных объектов планеты: океанов, морей, рек, озер, болот, ледников, снежного покрова, подземных вод. В состав гидросферы также входит вода в атмосфере, почвенная влага и вода живых организмов. В гидросфере представлены основные фазовые состояния воды – жидкое, твердое и газообразное. Это сплошная оболочка Земли, хотя иногда и невидимая, в случае когда она представлена только водяным паром или почвенной влагой.

«Невидимость» гидросферы во многих точках земной поверхности совсем не означает, что запас воды в этих точках незначителен. Даже в сверхаридных пустынях суммарный запас воды в атмосфере и почве (даже без учета подземных вод) порядка $10^4$ г/см$^2$, то есть 100 000 мм. Суммарные запасы воды всех видов в различных точках мира очень сильно различаются: например, различие между океаном и пустыней составляет по крайней мере $10^3$ раз.

«Невидимость» гидросферы в отдельных ее участках также совсем не означает, что ее роль пренебрежимо мала. Наоборот, водяной пар в атмосфере – необходимый участник важнейшего геоэкологического процесса – создания первичной биологической продукции, или фотосинтеза. А почвенная влага – практически обязательный компонент процесса создания растительной биомассы Земли. Кроме того, как водяной пар, так и почвенная влага играют важнейшую роль в глобальном гидрологическом цикле.

Пространственно гидросфера фактически совпадает с экосферой. Гидросфера проникает во все другие геосферы, и играет важнейшую роль в глобальных процессах обмена веществом и энергией. Вода в природе принимает участие, часто решающее, в очень многих и весьма разнообразных природных процессах, и в соответствии с особенностями того или иного процесса она отличается весьма различной подвижностью.

Вода гидросферы играет важнейшую роль в глобальном цикле вещества, осуществляя эрозию и денудацию горных пород, перенос и отложение продуктов их разрушения.

Вода обладает чрезвычайно высокой растворяющей

способностью. Дистиллированной воды в природе не бывает вовсе, и, наоборот, природные растворы разнообразнейшего содержания и весьма различной концентрации встречаются всюду в экосфере и играют решающую роль в глобальных геологических и биогеохимических круговоротах веществ. По словам В. И. Вернадского, «…нет природного тела, которое могло бы сравниться с ней по влиянию на ход основных, самых грандиозных геологических процессов».

Физические свойства воды весьма специфичны: большие величины скрытой удельной теплоты фазовых переходов (испарения, конденсации, таяния, сублимации), значительная теплоемкость, малая молекулярная теплопроводность, нетривиальная зависимость плотности от температуры и др. Эти специфические свойства оказывают серьезное влияние на те многие природные процессы, в которых участвует вода. В особенности значительную роль в глобальных процессах играет очень высокая величина скрытой удельной теплоты испарения-конденсации, потому что 84 % солнечной радиации, поглощаемой поверхностью Земли, расходуется на испарение. Это, в свою очередь, обеспечивает влагоперенос и, в конечном итоге, круговорот воды, или гидрологический цикл. Тем самым энергия Солнца как бы запускает и поддерживает глобальный круговорот воды.

Другое очень важное физическое свойство воды – это ее высокая теплоемкость, определяющая многие природные процессы. Например, огромный теплозапас океанов оказывает решающее влияние на глобальное геоэкологическое состояние Земли.

Океаны и моря покрывают 71 % общей площади Земли, а вместе с водными объектами суши (ледники, озера, водохранилища, болота и др.) общая покрытость Земли водой составляет почти 3/4. Это обстоятельство, вследствие высокой теплоемкости воды и значительной энергии ее фазовых переходов, имеет огромное значение для теплового и водного режима нашей планеты, а потому является решающим в формировании почв и растительности, и, следовательно, всего облика Земли.

В Мировом океане содержится 96,4 % общего объема гидросферы. Эта огромная масса состоит из двух слоев: верхнего, относительно теплого, и основного, холодного, с температурами порядка 4 °С и ниже. Океан играет важнейшую и весьма неоднозначную роль терморегулятора экосферы.

На суше основную массу воды содержат ледники (1,86 % от общих запасов и 70,3 % от запасов пресных вод), существенно

влияющие, благодаря их высокой отражательной способности (альбедо), на формирование глобального теплового баланса атмосферы и поверхности Земли. Общий объем подземных вод составляет 1,68 % гидросферы. Из них примерно половина – пресные воды.

Из весьма большого общего объема вод гидросферы (1338 млн куб. км) пресных вод всего лишь 2,64 %, что составляет слой воды на поверхность суши мира равный приблизительно 240 000 мм.

Мировой океан, ледники и подземные воды, то есть водные объекты замедленного водообмена, содержат 99,94 % всей воды гидросферы. Реки – важнейший компонент гидросферы, отличающийся высокой скоростью водообмена. Суммарный объем воды в реках мира всего лишь 0,0002 % от общих запасов воды и 0,005 % от запасов пресных вод. Если распределить речную влагу, единовременно находящуюся в руслах рек мира, равномерно по всей неледниковой поверхности суши, то средний слой составит лишь 13 мм. Однако, роль именно этой, «быстрой» влаги в функционировании экосферы и отдельных ее частей столь велика, что ее невозможно переоценить. Кроме того, именно эта вода – один из основных природных ресурсов, используемых человечеством, отличающийся к тому же высокой скоростью возобновления.

Важнейшим процессом в экосфере является *глобальный круговорот воды,* или, по другой терминологии, *гидрологический цикл.* Он служит основой единства географической оболочки, играя важнейшую роль во всемирном обмене веществом и энергией. Главным образом, под воздействием солнечной энергии вода испаряется с поверхности океанов и суши. Испарившаяся влага включается в процесс атмосферного влагопереноса. При этом часть атмосферного потока влаги выпадает в виде атмосферных осадков, снова испаряется, снова выпадает в виде осадков и т. д. Так осуществляются влагообороты в пределах материков и океанов.

Глобальный круговорот воды состоит из океанического и материкового звеньев, взаимосвязанных обменом водяного пара между океаном и сушей и стоком с суши в океан. Преобладающая часть выпадающих на сушу осадков испаряется, остальное стекает в океан, главным образом, в виде речного стока, а также стока подземных вод и отрыва («отёла») ледников в море. На почти третьей части неледниковой поверхности суши речные воды не имеют стока в океан и заканчиваются в бессточных впадинах, часто заполненных озерами. Схема глобального круговорота воды приводится на рис. 13, а обозначения – на стр. 159.

Состояние гидросферы Земли, а также и любой ее части, характеризуется ее *водным балансом.* С достаточной для большинства задач точностью можно принять, что общая масса гидросферы остается постоянной по крайней мере в течение кайнозоя, то есть последних десятков миллионов лет. Изменения гидрологического состояния Земли связаны не с изменениями общего мирового объема воды, а с пространственным перераспределением воды, в особенности с изменениями соотношения запасов воды в океанах и ледниковых покровах. При большем развитии оледенения на Земле вода гидросферы в большей степени концентрируется в ледниках и уровень Мирового океана понижается. И наоборот, высокий уровень океана соответствует относительно малому объему ледниковых покровов. Проявления этого соотношения наблюдаются в настоящее время, как это уже обсуждался в связи с последствиями изменения климата.

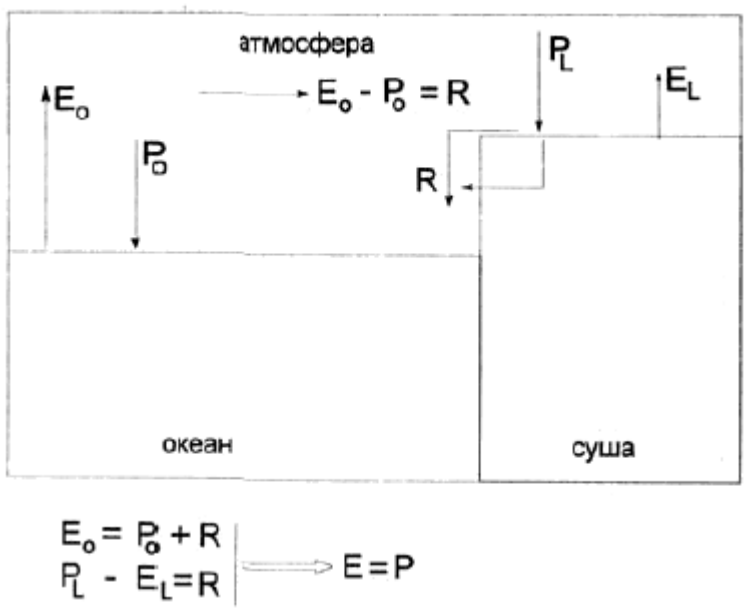


**Рис. 13. Схема глобального цикла воды**

Уравнения водного баланса для океана и суши со стоком в океан и областей внутреннего стока (бессточных) выглядят следующим образом:

Для Мирового океана: $P_O + R_O - E_O = \Delta W_O$.

Для областей со стоком в океан: $P_L - E_L - R_L = \Delta W_L$.

Для областей с внутренним стоком: $P_C - E_C = \Delta W_C$.

Здесь P – осадки, E – испарение, R – сток, ΔW – изменения запаса влаги в соответствующей области ($_o$ – в Мировом океане, $_L$ – в областях со стоком в Мировой океан, $_C$ – в областях с внутренним стоком).

Сложим почленно все три уравнения, одновременно объединяя однородные компоненты баланса:

$(P_o + P_L + P_c) – (E_o + E_L + E_c) – (R_L – R_L) = \Delta W_o + \Delta W_L + \Delta W_c$. Для Земли в целом ($_m = _o + _L + _c$) получим:

$$P_M – E_M = \Delta W_M$$

Поскольку, в соответствии со сказанным выше, объем воды на Земле практически постоянен ($\Delta W_E = 0$), то за многолетний период общемировые величины осадков и испарения должны быть равны:

$$P_E = E_E.$$

Все компоненты глобального водного баланса определяются с невысокой точностью, порядка 10–20 %, и данные, приводимые различными авторами, заметно отличаются друг от друга.

Осадки на океанах и значительных частях суши измеряются в относительно немногих точках, что при высокой пространственной изменчивости осадков приводит к существенным погрешностям в определении их величин в мировом водном балансе.

Сток, при наличии достаточно продолжительных гидрометрических измерений, определяется с наибольшей, по сравнению с другими компонентами, точностью. Однако во многих районах мира регулярные гидрометрические измерения не проводятся. В особенности следует отметить необходимость и недостаточность регулярных наблюдений за стоком крупнейших рек мира.

Испарение, как с суши, так и с водной поверхности, почти совсем не измеряется. Оно или рассчитывается для отдельных точек по физическим формулам, или же определяется как остаточный член водного баланса. Точность его определения для мира или крупных его частей, следовательно, невелика.

Изменения запаса воды также не определяются с высокой точностью. Для глобального водного баланса важнейшими составляющими являются изменения объема океана и покровных ледников. Как мы уже видели выше, измеряемые изменения уровня воды океана не полностью отражают колебания его

объема из-за комплекса гидрометеорологических, геотектонических и геоморфологических факторов, из которых только первый отражает изменения объема воды. Что касается ледниковых покровов, то пока даже не удается надежно определить, увеличивается или уменьшается масса ледниковых покровов Гренландии и Антарктиды, не говоря уже о количественных оценках.

Задача более надежного определения компонентов водного баланса мира – одна из важнейших проблем гидрологии и геоэкологии. Есть основания надеяться, что проводящиеся исследования глобального гидрологического цикла в рамках международных программ исследования глобальных изменений принесут более точные результаты.

Величины некоторых компонентов глобального водного баланса за год выглядят следующим образом:

| Элементы водного баланса | Объем, тыс. куб. км | Слой, мм |
|---|---|---|
| Осадки, мир в целом: | 577 | 1130 |
| Испарение, мир в целом: | 577 | 1130 |
| Осадки на поверхность суши: | 119 | 800 |
| Влагообмен между океаном и сушей, | 47 | 320 |
| в том числе речной сток в океан | 42 | 280 |

Отметим, что около 30 тыс. куб. км в год расходуется на транспирацию растениями, или 42 % суммарного испарения с поверхности суши. Антропогенные преобразования экосферы и ее компонентов, экосистем Земли, тесно связаны с трансформацией водного баланса и режима.

Влияние деятельности человека на компоненты мирового водного баланса пока затушевывается относительно невысокой точностью определения компонентов. Однако глобальные модели циркуляции климата показывают, что антропогенные изменения климата повысят интенсивность водообмена в глобальном гидрологическом цикле. Влияние изменения климата на гидрологическую ситуацию в отдельных регионах будет весьма значительным.

## VI.2. Воды суши и деятельность человека

### VI.2.1. Основные функции вод суши в экосфере

В природе вода находится в центре большинства взаимосвязей, в том числе между другими геосферами. В

обществе вода – критический фактор многих экономических, общественных и политических проблем. В обобщенном виде можно сказать, что воды суши в экосфере выполняют три основные функции, важные с точки зрения геоэкологии:

1) участника, зачастую ведущего и интегрирующего, в глобальных циклах вещества;

2) индикатора состояния экосистем, в особенности бассейнов рек или озер;

3) самого широко употребляемого природного ресурса.

Во многих случаях вода – ключевой фактор основных глобальных экологических проблем. Выше уже отмечалась исключительная роль воды как агента, переносящего растворенные, влекомые и взвешенные вещества. Поэтому она – важнейший фактор в глобальных биогеохимических циклах углерода, азота, серы, фосфора и др. и в экзогенной части большого геологического цикла (или цикла эрозии-седиментации). Глобальный гидрологический цикл – это один из основных жизнеобеспечивающих механизмов экосферы, зависящий в то же время от изменения ее состояния.

Гидрологический цикл означает больше, чем водный цикл. Реки мира приносят в океан около 20 млрд тонн наносов и 3 млрд т растворенных веществ в год. В пределах бассейнов происходит еще более значительное, не менее чем на порядок большее перемещение вещества, во многом благодаря деятельности воды.

Многие острые геоэкологические проблемы связаны с водными проблемами. Ухудшение состояния антропогенно трансформированных естественных систем и сельскохозяйственных систем является или следствием изменившегося водного режима (часто в результате деятельности человека), или, наоборот, антропогенные изменения систем ведут к изменениям таких важных гидрологических характеристик, как водоудерживающая способность почв, перехват осадков растительностью, инфильт-рационная способность и др., с соответствующими изменениями гидрологического режима. Подобным образом, наводнения и засухи – это больше чем избыток или дефицит воды. Их более частая повторяемость может быть результатом нарушения состояния речной системы.

Вода отличается особенностью интегрировать процессы, протекающие на водосборе. При этом речь идет о процессах на любом уровне, от просачивания капель воды в почву в верхней части водосбора до движения мощного потока крупной реки. В целом можно сказать, что вода находится в центре большинства взаимодействий в природе, играя в экосистеме роль, сходную с

ролью крови в теле человека. И так же как анализ крови дает представление о состоянии больного, так и химические и физические особенности природных вод являются хорошим индикатором многих процессов, протекающих на водосборе.

Зональные природные процессы хорошо отражены в основных показателях гидрологического режима. Например, реки в зоне влажных тропических лесов многоводны, со слоем стока порядка 1200 мм, с высокой долей подземного стока (около 50 %), постоянно высокой температурой воды (25–27 ˚С). Природные воды этой зоны ультрапресные (менее 100 мг/л растворенных веществ и даже в отдельных случаях менее 10 мг/л), гидрокарбонатно-кремнеземного класса, с малой концентрацией наносов (менее 50 г/л). В зоне степей, например, картина другая. В зоне степей сток невелик, слой стока порядка 50 мм в год. Водность рек резко изменяется по сезонам года. Сток преимущественно (на 80 %) формируется водами, стекающими по поверхности водосбора. Воды пресные, но со значительным содержанием солей (до 1000 мг /л), гидрокарбонатно-кальциевые, мутность воды значительная (до 500 мг/л). Разумеется, эти средние данные носят исключительно иллюстративный характер.

При усилении деятельности человека в бассейне реки или озера природные воды этого бассейна также соответствующим образом изменяются, что находит свое отражение в индикаторах геоэкологического состояния бассейна. Например, примерно за столетие содержание хлоридов в воде р. Рейн на границе Германии и Голландии увеличилось приблизительно на порядок, что указывает на весьма значительное увеличение антропогенного давления в бассейне.

## VI.2.2. Геоэкологические аспекты водного хозяйства

### *VI.2.2.1. Водные ресурсы и водообеспеченность*

Вода – наиболее широко используемый природный ресурс. Забор воды из всех источников мира составляет около 4000 км$^3$ в год. Объем других широко используемых природных ресурсов, таких как уголь или нефть, примерно на три порядка меньше. Громоздкость воды как ресурса приводит к необходимости использования его поблизости от местонахождения или к большим трудностям и высокой стоимости передачи воды на значительные расстояния. Таким образом, водные ресурсы преимущественно локальны.

Передача значительных объемов воды с континента на континент и даже на большие расстояния внутри континентов по ряду причин весьма затруднительна (см. раздел VI.2.2.3.). Тем не менее, существуют занимательные предложения по транспортировке воды на большие расстояния. К ним относятся, например, предложения по буксированию айсбергов из Антарктиды в страны Персидского залива. Технически такие проекты возможны, и они будут теоретически совершенствоваться и далее. Однако, стоимость кубометра такой воды была и останется высокой даже по сравнению с более реальными, но также дорогими способами, например, с опреснением морской воды. Можно представить себе только один сценарий, оправдывающий транспортировку айсбергов: все источники воды мира станут настолько загрязнены, что Антарктида останется единственным надежным источником драгоценной питьевой воды требуемого качества. Остается надеяться, что такой сценарий не станет реальностью.

Управление водными ресурсами удобнее всего осуществлять для всего бассейна реки или озера или бассейна подземных вод. Однако политические и административные границы, как правило, не совпадают с водоразделами. Внутри стран это приводит к неудобной ситуации, когда водное хозяйство осуществляется по речным бассейнам, в то время как большая часть другой экономической деятельности привязана к административному делению.

На международном уровне это может приводить к конфликтам, связанным с использованием водных ресурсов. Около половины населения мира живет в не менее чем 220 международных речных и озерных бассейнах, причем более 25 бассейнов принадлежат четырем и более странам.

Наибольшие трудности в сотрудничестве между областями (штатами) или, тем более, странами заключаются в том, что территории, расположенные выше по течению реки, находятся в преимущественном положении, поскольку они вольно или невольно могут влиять на водные ресурсы вниз по течению, не будучи заинтересованы ни в количестве, ни в качестве утекающей вниз воды. При этом нижележащим территориям предопределена пассивная роль, поскольку они не имеют естественных рычагов управления ресурсами, приходящими с верхней части бассейна. Самым ярким примером является ситуация в бассейне Нила, где любые действия в верхнем или среднем течении, ведущие к сокращению стока реки в низовьях, оказывают неблагоприятное и очень серьезное воздействие на экономику Египта, существование которого в течение всей истории и до сего дня зависит от режима

Нила.

Комиссия ООН по вопросам права сформулировала принципы международного сотрудничества в области водных ресурсов. Они включают четыре межгосударственных обязательства.

1. Информировать соседние государства и консультироваться с ними, прежде чем предпринять какие-либо действия, которые могут привести к изменениям состояния разделяемых водных ресурсов.

2. Регулярно обмениваться гидрологическими данными.

3. Избегать причинения ущерба другим пользователям водных ресурсов.

4. Распределять воду из общей реки «разумно и справедливо».

Водные проблемы зачастую многокомпонентны. В процессе использования водных ресурсов возникают взаимосвязанные проблемы их дефицита, недостаточно приемлемого их качества, ущерба от наводнений и неблагоприятных изменений других компонентов окружающей среды. Водные ресурсы и их использование являются центральной проблемой развития аридных и семиаридных территорий, играя также очень важную роль во всех других, более богатых водой областях. Стратегия решения водных проблем заключается в таком управлении бассейном, которое бы обеспечивало экономическое развитие без ухудшения водных и связанных с ними других природных ресурсов.

Абсолютный верхний предел возобновимых водных ресурсов мира – это суммарное количество осадков, выпадающее на поверхность суши, что составляет около 120 000 км$^3$ в год. По-видимому, безвозвратный забор даже 10 % этой воды на хозяйственные нужды означал бы геоэкологическую катастрофу. Следующий, более реальный верхний предел возобновимых водных ресурсов мира – это речной сток. Его объем – порядка 40 000 км$^3$ в год. Из этого количества устойчивый речной сток, наиболее удобный для использования, составляет 12000 км$^3$ в год. Однако крупные реки мира в своих низовьях несут слишком много воды, больше, чем ее там возможно использовать. Поэтому, по М. И. Львовичу[5], доступный устойчивый речной сток составляет примерно 9000 км$^3$ в год, и это реальный объем возобновимых водных ресурсов мира, технически возможный для использования без строительства плотин. Геоэкологический предел использования возобновимых водных ресурсов должен быть существенно ниже, чем 9000 км$^3$, поскольку экосистемы суши и виды организмов, их составляющие, также нуждаются в воде.

К этому объему можно добавить ресурсы подземных вод,

ледников и пресноводных озер. Водные ресурсы этих объектов содержат как возобновимую, так и невозобновимую компоненты, в зависимости от интенсивности их использования: чем больше забор воды, тем больше доля используемой невозобновимой компоненты и тем меньше становятся невосполняемые запасы.

Богатая подземной водой хорошего качества гидрогеологическая формация Огаллала находится в области Высоких Равнин юга США (штаты Небраска, Канзас, Арканзас, Оклахома, Техас и др.). Запасы воды в ней образовались вследствие существования некоторой небольшой разности между приходными и расходными компонентами уравнения водного баланса формации. Несмотря на малое ежегодное накопление воды, большая продолжительность этого процесса привела к значительным запасам подземных вод. Большие запасы подземных вод предопределили развитие высокоэффективного орошаемого земледелия. В течение последних десятилетий отбор воды на орошение за год заметно превышал ежегодную естественную загрузку подземных вод. В результате уровень подземных вод упал и продолжает снижаться, затраты энергии на откачку воды из скважин увеличиваются, и стоимость производимого продукта также увеличивается. В некоторых частях этой обширной территории земледелие стало невыгодным, и сельское хозяйство снова стало пастбищно-скотоводческим, как это было в XIX в.

Как мы уже видели, безвозвратное потребление воды в мире составляет сейчас около 4000 куб. км в год, при возобновимых ресурсах порядка 9000 куб. м в год. Соотношение между имеющимися ресурсами и потреблением выглядит на глобальном уровне пока вполне благоприятным, но на самом деле для многих районов это далеко не так, так как средние мировые величины маскируют имеющиеся различия между районами и скрывают дефицит водных ресурсов во многих местах мира.

Одним из показателей состояния водных и связанных с ними геоэкологических проблем в той или иной стране является количество водных ресурсов на каждого жителя. Для стран с преимущественно транзитным стоком (как Египет или Судан) или для крупных стран с разнообразными региональными условиями формирования стока (как Россия или Китай) этот показатель нерепрезентативен. Однако для всей совокупности стран мира он полезен для сравнительной оценки ситуации с водными ресурсами.

Водообеспеченность изменяется от страны к стране на несколько порядков (от 328 000 куб. м/чел. в год для Габона до практически нуля в странах Персидского залива). Уровень 500

куб. м на человека в год и менее является чрезвычайно низким, даже пороговым для национального устойчивого развития. Примерно таким количеством водных ресурсов (370 куб. м/чел.) располагает Израиль, являя пример весьма эффективного использования водных ресурсов, в том числе на орошение. Уровень 1000 куб. м на человека обычно принимается в качестве критического, указывающего на то, что страна находится в состоянии острого дефицита водных ресурсов.

В странах, где водное хозяйство определяет всю экономику, таких как Египет, Сирия, Пакистан, уровень водопотребления составляет 1200–2200 куб. м/чел.

В настоящее время 15 стран (из 145, по которым были данные) с населением 110 млн чел. располагают менее чем 500 куб. м на чел. Весьма низкий уровень водных ресурсов (500– 1000 куб. м на чел.) характерен еще для 12 стран с населением 120 млн чел. Для этих 27 стран дефицит водных ресурсов определяет существование их населения, это вопрос жизни и смерти и причина важнейших стратегических решений правительств. Еще 58 стран с населением 3,4 млрд чел. живут в условиях малого количества водных ресурсов (1000–5000 куб. м/чел.). Всего к 1990 г. 85 стран с 70 % населения мира стояли перед проблемами дефицита водных ресурсов (табл. 9). Это в основном развивающиеся страны, где недостаток водных ресурсов является важным, если не важнейшим, препятствием их социального и экономического развития.

*Таблица 9*

**Число стран, различающихся по количеству водных ресурсов на душу населения, тыс. куб. м за год, в 1990 и 2025 гг.**

| Количество водных ресурсов, тыс. куб. м /чел. за год | Число стран этой категории в 1990 г. | Ожидаемое число стран этой категории в 2025 г. |
|---|---|---|
| Крайне малое (<500) | 15 | 26 |
| Очень малое (500-1000) | 12 | 19 |
| Малое (1000-5000) | 58 | 51 |
| Среднее ((5000-10000) | 12 | 10 |
| Высокое (>10000) | 48 | 39 |

Многие страны с ресурсами, превышающими 5000 куб. м/чел., выглядят благополучными, но на самом деле средняя цифра часто скрывает серьезные региональные различия внутри стран. Россия – характерный пример такой ситуации, где малая обеспеченность водными ресурсами совпадает с наиболее населенными и экономически развитыми территориями, такими

как центр и юг Европейской России и Уральский промышленный регион.

Другой показатель степени напряженности с обеспечением водными ресурсами – доля используемой воды по отношению к имеющимся ресурсам. Распределение этого показателя по странам мира показано на рис. 14.

Поскольку численность населения будет увеличиваться, а объем имеющихся водных ресурсов останется постоянным, ситуация дефицита водных ресурсов будет и далее ухудшаться, вызывая дальнейшее углубление противоречий, связанных с использованием водных ресурсов как на международном, так и на национальном уровнях. Предстоящее изменение климата еще в большей степени усилит конфликтные ситуации.

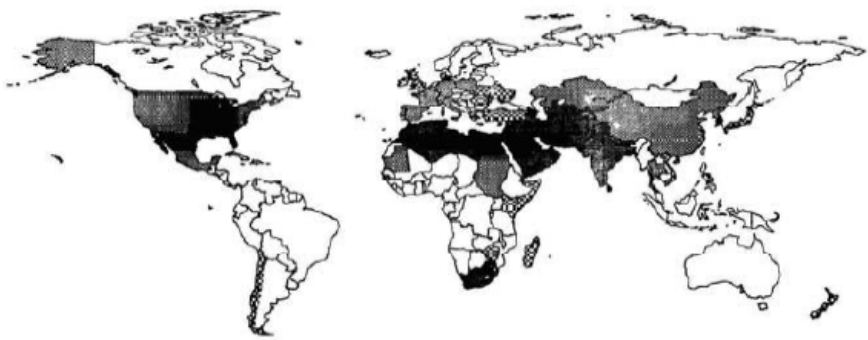

**Рис. 14. Доля водопотребления по отношению к имеющимся водным ресурсам (прогноз на 2025 г.)**

К 2025 г. уже 1,4 млрд чел. в 45 странах мира будут располагать менее чем 1000 куб. м на чел. за год. Около трех четвертых населения мира приблизительно в 100 странах будет жить в условиях дефицита воды, или, иными словами, под угрозой экологической, экономической и политической неустойчивости (табл. 9). Если существующие в настоящее время способы ведения хозяйства не изменятся, будет продолжаться и ухудшение качества воды, что еще более осложнит ситуацию. Можно ожидать, что количество и глубина конфликтов, связанных с водными проблемами, еще более возрастут.

### *VI.2.2.2. Регулирование речного стока*

Когда на какой-либо территории потребность в воде начинает превосходить величину устойчивого речного стока, и другие

источники водных ресурсов (в первую очередь, подземные воды) отсутствуют или почему-либо не могут быть использованы, возникает необходимость в регулировании речного стока, то есть в строительстве плотин и, соответственно, создании водохранилищ. Создание плотин и водохранилищ – важнейший способ увеличения объема возобновимых водных ресурсов.

Первые плотины появились в мире еще 4–4,5 тыс. лет тому назад. В XX в. темпы создания плотин сильно увеличились, в особенности начиная с 1950-х гг. В настоящее время в мире существует около миллиона созданных человеком водохранилищ разного размера, от сравнимых с крупными естественными озерами до небольших прудов. Их общий объем превышает 6000 куб. км и полезный объем – 3000 куб. км. Насчитывается около 30 000 крупных водохранилищ с объемом более 1 млн куб. м. Наиболее крупные водохранилища (не считая подпруженных озер) – это Братское на Ангаре (169 куб. км), Кариба на Замбези (160 куб. км), Насер на Ниле (157 куб. км), Вольта на Вольте (148 куб. км). Общая площадь поверхности водохранилищ, включая подпруженные озера, составляет около 600 000 кв. км.

При суммарном полезном объеме равном 3000 куб. км водохранилища увеличивают устойчивый сток, то есть возобновимые ресурсы, пригодные к использованию, на 25 %. С другой стороны, средняя мировая продолжительность водообмена в речных системах увеличилась с 20 до 100 суток, что указывает на ухудшение их экологического состояния. В частности, заметно снизилась естественная самоочищающая способность рек, связанная с постоянным поглощением кислорода из воздуха речной водой, текущей в турбулентном режиме. Растворенный в воде кислород расходуется на окисление переносимых водой органических загрязняющих веществ.

В России и других странах бывшего СССР имеется более 4000 крупных водохранилищ с объемом, превышающим 1 млн куб. м, причем 98 % общего объема находится в 250 крупнейших водохранилищах с объемом каждого более 100 млн куб м. Всего зарегулировано около 1200 куб. км воды, или около 25 % речного стока.

Водохранилища, в том числе крупнейшие, располагаются в России преимущественно на равнине. Это означает, что потери земли, причем самой ценной для сельского хозяйства, на поймах и террасах рек в особенности велики. Помимо потери сельскохозяйственных земель, водохранилища в России принесли с собой ряд других проблем. Среди них такие, как переселение людей и нарушение сложившихся традиций ведения хозяйства, ухудшение качества воды, неустойчивый и потому

неблагоприятный гидрологический режим в нижнем бьефе плотины, перехват стока биогенных элементов (фосфора и азота) и, соответственно, снижение биологической продуктивности морей, подъем уровня грунтовых вод с сопутствующими изменениями продуктивности природных и антропогенных ландшафтов, ухудшение условий рыболовства и др.

С другой, положительной стороны, гидроэлектрические станции не загрязняют окружающую среду. Они играют также важную роль в энергетических системах. В особенности важно их свойство практически мгновенно реагировать на изменения спроса на энергию: вечерние и утренние пиковые нагрузки в энергосистемах, связанные с повседневной жизнью людей, наиболее эффективно покрываются гидроэлектростанциями. Развитие орошения во многих районах мира невозможно без создания водохранилищ. Водохранилища на крупных реках улучшают также условия навигации.

В экономически развитых районах мира плотины задерживают загрязняющие вещества, переносимые рекой, переводя их в донные отложения. В частности, по К. К. Эдельштейну, каскад водохранилищ Волги и ее бассейна эффективно выполняет эту важную геоэкологическую задачу.

Плотины с сопутствующими сооружениями (водохранилищами, ирригационными системами, гидроэлектростанциями, шлюзами и пр.) составляют важную часть стратегии развивающихся стран. В тропических условиях регулирование стока приносит дополнительные проблемы по сравнению со странами с умеренным климатом, поскольку режим водохранилищ и их воздействие на окружающую среду в сильной степени зависят от природных условий. Как только в тропическом районе возникает новое водохранилище, уровень заболеваний и смертности резко повышается: качество воды в водохранилище обычно хуже, вследствие замедленного водообмена, увеличения водной биомассы и пр., по сравнению с речной водой, что приводит к значительному росту желудочно-кишечных заболеваний. Переносчики многих болезней, таких как малярия или шистосоматоз, находят для себя лучшие, чем раньше, условия существования, что приводит к резкому увеличению заболеваний.

В последние годы начали возникать водохранилища в зоне влажных экваториальных лесов, где дополнительно к уже перечисленным возникают новые геоэкологическаие проблемы. Первое крупное водохранилище в этой зоне – это Тукуруи в Бразилии с ГЭС мощностью 8000 млн кВт. Водная растительность прекрасно развивается в условиях постоянного высокого притока

тепла до такой степени, что на водохранилище поверхности воды практически не видно. Последующее разложение отмирающей водной биомассы поглощает из воды весь растворенный там кислород и приводит в конце концов к анаэробному разложению оставшейся биомассы с выделением весьма ядовитого сероводорода. Заметно возросло также число случаев заболеваний одним из видов энцефалита со смертельным исходом. Подобные условия существуют также в Суринаме, где на относительно небольшом водохранилище Брокопондо запах сероводорода столь силен, что операторы на ГЭС должны работать в противогазах.

В ряде случаев, в особенности в развивающихся странах, интересы местного приречного населения не учитываются при планировании развития водного хозяйства. Один из американских исследователей пишет, что большие плотины в Африке – это классический пример того, как городские жители проектируют плотины с главной целью производить энергию почти исключительно для городской же промышленности. Обследование пяти небольших водохранилищ в Кении и Зимбабве показало, что местное население не получает никаких выгод от вновь появившихся озер, таких как качественное водоснабжение, канализация, электричество или увеличение продуктов питания.

В научной литературе, и в особенности в средствах массовой информации мира, публикуется много заявлений с оценкой (зачастую голословной) эффективности тех или иных осуществленных проектов гидротехнических сооружений с, как правило, отрицательными выводами. Однако, строгих научных оценок пока почти не сделано. В особенности сложно оценить экономический эффект больших плотин и водохранилищ, не говоря уже об интегрированном эколого-экономическом эффекте. Можно сказать, что водохранилища выполняют свою задачу, увеличивая водные ресурсы. С другой стороны, они приносят много неблагоприятных последствий. Поэтому проектирование нового водохранилища, в особенности крупного, – это всегда поиск оптимального решения, в котором сумма выгод в конечном итоге должна превышать сумму потерь, и в каждом случае это решение должно быть индивидуальным.

В случае СССР и современной России затруднительно сказать, каков же итоговый эффект наших плотин и водохранилищ, в основном расположенных на равнине, поскольку имеются как значительные плюсы, так и минусы. Развитие водного хозяйства в СССР и России шло по экологически неустойчивому пути. Вероятно, если бы строительство каскадов водохранилищ на равнинных реках России производилось сейчас, то высота плотин

была бы ниже, и, соответственно, площадь затапливаемых земель меньше, и неблагоприятные геоэкологические последствия были бы значительно сокращены по сравнению с тем, что мы фактически имеем.

Многие отрицательные последствия строительства плотин и водохранилищ являются серьезным аргументом против их дальнейшего развития. Однако необходимо помнить, что водохранилища – важнейшее средство увеличения объема возобновимых водных ресурсов. В процессе принятия решения о строительстве новой плотины необходимо тщательно взвесить все «за» и «против», причем универсальной методики оценки не существует, и потому к анализу необходимо привлекать не только необходимые инженерные, экологические и пр. знания, но и изрядную долю воображения и здравого смысла. Окончательное решение – всегда компромисс между инженерными, экономическими и экологическими целями проекта. Всеобъемлющая экспертиза крупного гидротехнического проекта – это дорогостоящее занятие. но сами проекты намного дороже, они строятся не менее чем на сто лет, и последствия неправильного решения могут оказаться глубокими и долговременными. Мы уже имеем много примеров этого из практики нашего российского водного хозяйства.

В настоящее время имеются примеры переоценки эффективности некоторых гидротехнических схем, осуществленных в предшествующие десятилетия. Например, по Проекту бассейна р. Теннесси в США (Tennessee Valley Authority) в 1930-х гг. было построено около 20 плотин с водохранилищами. Предполагалось, что эта схема обеспечит дешевую энергию, улучшит условия судоходства и защиту от наводнений и в целом создаст основу для успешного экономического развития. Проект считался обычно хорошим примером успешного решения проблем регионального развития. Более глубокий анализ показал, что осуществленный проект не принес ожидаемого материального благополучия в этот регион.

Глубокий анализ геоэкологических последствий сооружения Асуанской плотины на Ниле в Египте выполнен иностранным членом РАН Г. Уайтом (США), который не пришел к однозначной оценке последствий. Вследствие летних (июнь-сентябрь) дождей в бассейне Нила ежегодно формируется половодье, всегда игравшее благотворную роль в становлении и развитии Египта и его цивилизации. Половодье орошало поля и приносило на них плодородный ил. В настоящее время ил задерживается плотиной, и плодородие почв должно поддерживаться посредством применения минеральных удобрений. Нильская вода

аккумулируется в водохранилище, которое регулирует объем доступных водных ресурсов с последующим их использованием для орошения и производства электроэнергии. В конце 1970-х гг Асуанское водохранилище удержало несколько весьма высоких и потому очень опасных половодий. Наоборот, в середине 1980-х гг. было семь лет подряд, когда объем половодья Нила был намного ниже среднего. При этом в каждый маловодный год дефицит воды, необходимой для орошения полей Египта, пополнялся из Асуанского водохранилища. Таким образом, водохранилище предотвратило крупнейшую катастрофу. Страна была буквально спасена от голода, экономических трудностей и политической нестабильности.

Строительство крупных и сверхкрупных гидротехнических систем, включая водохранилища, по-видимому, достигло пика в третьей четверти XX в. В настоящее время видна тенденция к его снижению. В то же время среди осуществляемых проектов – строительство крупнейшей в мире ГЭС и водохранилища в месте, называемом Три Ущелья, на р. Янцзыцзян в Китае и осуществление огромного Юго-Восточного Анатолийского проекта интегрированного развития, включающего комплекс из 22 плотин, 19 ГЭС и оросительных систем площадью 1,7 млн га в верхней части бассейнов рек Ефрат и Тигр в Турции.

Причины, по которым сооружение водохранилищ в мире замедлилось, разнообразны. Во многих развитых странах все приемлемые для строительства плотин места уже использованы, а оставшиеся не подходят по экономическим или политическим соображениям. Это верно и для европейской части России и Урала. В США за последние два десятилетия не построено ни одного крупного водохранилища. Руководство Бюро мелиораций США, осуществлявшего основную часть строительства плотин и водохранилищ, в 1995 г. приняло решение прекратить их дальнейшее сооружение, поскольку приоритеты американского общества изменились, и плотины с водохранилищами более не рассматриваются в качестве приоритетных.

Среди причин замедления темпов строительства водохранилищ в мире – высокая стоимость строительства и переселения жителей из зоны затопления, большие потери земельных ресурсов высокого качества, серьезные и плохо предсказуемые геоэкологические последствия, глубокие изменения гидрологического режима в верхнем и нижнем бьефах плотин, нарушение установившегося уклада жизни и хозяйства, несовместимость интересов различных социальных групп населения, которые могли быть затронуты в результате строительства.

### *VI.2.2.3. Переброски речного стока*

На определенной стадии развития водного хозяйства некоторой территории, когда не только устойчивая часть речного стока и доступная часть ресурсов подземных вод, но и дополнительный ресурс вследствие регулирования стока приближаются к экономически и экологически рациональному пределу, возникает интерес к осуществлению проектов передачи («переброски») части речного стока из водообеспеченного в вододефицитный регион.

Масштабы крупнейших перебросок в мире выросли на порядок, от 0,5–1 куб. км в год (15–30 $м^3/с$) в начале XX в. до примерно 10 $км^3$ в год (более 300 $м^3/с$) в настоящее время. Примеры перебросок воды есть во многих странах. В бывшем СССР крупнейшим сооружением является Каракумский канал, забирающий из Аму-Дарьи в западном направлении не менее 10 $км^3$ воды в год, используемой преимущественно на орошение. В Калифорнии (США) перераспределяется между речными бассейнами около 30 $км^3$ в год. В различных странах (бывший СССР, США, Канада, Индия, Китай, ЮАР, Мексика и др.) предлагались новые проекты следующего порядка величины[6], но возможность их осуществления, по крайней мере, в ближайшем будущем вряд ли достижима.

В США в 1960-х гг. растущая потребность в водных ресурсах, главным образом для ирригации, заставила проектировщиков разработать впечатляющие схемы перераспределения водных ресурсов в масштабах всего континента. Вода должна была быть забрана из относительно водообильного северо-запада США и Канады и доставлена на юго-запад и юг США, и даже в Мексику, по очень сложной (и, без сомнения, дорогой) сети каналов, водохранилищ, насосных станций, ГЭС и пр. Позднее, в 1970-х гг, более скромные, но все же крупные схемы перебросок воды предназначались в США для решения различных проблем дефицита водных ресурсов. Например, проводились детальные исследования стратегии пополнения запасов подземных вод формации Огаллала на Высоких Равнинах США (см. VI.2.2.1.). В Калифорнии изыскивались дополнительные источники воды за пределами штата. Ни один из этих проектов не был реализован. Эта ситуация отражает неодобрительную позицию американского общества по отношению ко всем новым крупным гидротехническим проектам, включая проекты перебросок. Главные же факторы отказа от проектов перебросок воды в США были следующие.

(а) Ирригация должна была стать главным потребителем

воды. Однако стоимость перебрасываемой воды была бы на порядок величины дороже, чем стоимость воды, используемой в настоящее время для орошения. Локальные дефициты водных ресурсов заставляли фермеров более экономно использовать уже имеющуюся воду, играя роль эффективных регуляторов спроса. Помимо этого в США существует избыток сельскохозяйственных продуктов как для внутреннего, так и для внешнего рынка, и в дальнейшем развитии ирригации уже нет нужды.

(б) Геоэкологические последствия сверхкрупных проектов переброс воды многочисленны и комплексны. Даже сейчас, когда наше понимание проблем геоэкологии намного лучше того, что было 20–30 лет тому назад, последствия неопределенны, плохо предсказуемы и не сравнимы, то есть, например, не могут быть представлены в денежном выражении.

(в) Юридические и политические вопросы крупномасштабных международных переброс воды необычайно сложны. Общественное мнение в Канаде настолько против переброс воды южному соседу, что парламент страны принял специальный закон, запрещающий это делать. Не легче и передача водных ресурсов из штата в штат, не говоря уже о переброс сквозь несколько штатов.

Эти трудности в осуществлении крупномасштабных переброс воды очевидно справедливы и для других стран, хотя они могут принимать различные формы в зависимости от национальных особенностей, что подтверждается примером бывшего Советского Союза.

В СССР 20–25 лет тому назад существовали грандиозные проекты переброс речного стока. В стране шло исследование и проектирование переброс значительной части воды из Иртыша, Оби, Сев. Двины и других северных и сибирских рек на юг, в основном в бассейны Аральского и Каспийского морей. В проработках проблемы участвовали более ста научно-исследовательских и проектных институтов по всему очень широкому кругу вопросов.

Исследования проблемы были обоснованными, потому что на южном «макросклоне» СССР проживало 75 % населения страны, располагавшего всего лишь 16 % водных ресурсов, и дефицит воды в ряде мест уже был весьма серьезным. Ситуация осложнялась усиливающимся загрязнением водных ресурсов и падением уровня воды всех основных бессточных водоемов (Каспия, Арала, Балхаша и др.).

Вместе с тем работы по проектированию новых схем в недостаточной степени учитывали необходимость кардинального повышения эффективности использования водных ресурсов во

всех отраслях водного хозяйства, в особенности в орошении. К тому времени в стране накопилось много примеров того, что дорогостоящие сооружения не приносили ожидаемой экономической выгоды, но вызывали серьезные и многочисленные геоэкологические последствия, такие как засоление и заболачивание почв, ухдшение качества воды, деградация экосистем и пр. Эти уроки не были учтены, потому что основной стратегией водного хозяйства было увеличение доступных водных ресурсов без должного роста эффективности их использования и при пренебрежении геоэкологическими и экономическими факторами.

Во второй половине 1980-х гг. политический климат в стране начал изменяться. Экологическое движение стало одной из первых возможных форм массового протеста против тоталитарного политического режима в стране. Одним из первых объектов критики режима стали дорогостоящие, неэффективные и экологически неблагоприятные гидромелиоративные сооружения и проекты, то есть выдвигались соображения, подобные приведенным выше для США. В конце концов руководство страны того времени приняло решение остановить все работы по переброскам, включая научные исследования.

Последнее десятилетие почти не принесло новых проектов переброс воды. Главные причины уже обсуждались: высокая стоимость проектов и, следовательно, получаемой воды, высокая степень неопределенности в оценке геоэкологических последствий и общая тенденция к повышению эффективности использования уже имеющихся водных ресурсов. Кроме того, теоретически может существовать некий предел размеров переброс воды (и вообще водохозяйственных схем), при котором неопределенность экологических и других последствий начинает превышать экономическую эффективность проекта, так что его осуществление становится неоправданно рискованным и потому нецелесообразным.

Вероятно, в будущем негативное отношение к крупномасштабным переброскам воды может измениться и в нашей стране, и в мире. В России более 80 % населения живут в бассейнах Каспийского и Азовского морей. Дефицит водных ресурсов в этих бассейнах уже сейчас весьма значителен, в то время как их собственные ресурсы составляют менее 8 % от общероссийских. Несомненно, что острота водных проблем в этой наиболее населенной и экономически развитой части страны будет только возрастать, и может стать критической. Тогда, после того как будут исчерпаны возможности значительного повышения эффективности использования воды и резкого сокращения ее

загрязнения, вопрос о перебросках снова станет на повестку дня, хотя это и не значит, что он будет решен положительно, так как экологические соображения могут оказаться более весомыми.

Особым типом переброс воды являются системы управления водными ресурсами значительной территории. Например, в Калифорнии действует система управления водными ресурсами на уровне штата, главным образом, для орошения и водоснабжения крупных городов. Значительная часть водных ресурсов, формирующихся на севере Калифорнии, передается на юг для орошения основных земельных массивов штата, лежащих в продольной депрессии долин двух основных рек, Сакраменто и Сан-Хоакин. Далее часть воды передается на юг штата для водоснабжения мегаполиса Лос-Анджелеса и орошения. Другая часть воды поступает в южную Калифорнию из р. Колорадо. Всего в штате перераспределяется около 30 куб. км воды в год.

Выше мы уже обсуждали вопрос о том, что сложные природно-хозяйственные системы всегда влекут за собой как положительные, так и отрицательные последствия и что абсолютно лучших решений не бывает, а могут быть только оптимальные решения, принимаемые в результате компромисса. В случае Калифорнии высококлассные инженерные решения привели к серьезным экологическим проблемам, таким как засоление почв, возвратные воды, сильно загрязненные вследствие орошения, деградация объединенной дельты рек Сакраменто и Сан-Хоакин со снижением ее биологической продуктивности и др.

Основу проекта Сардар Саровар в аридной северо-западной Индии также составляет региональное управление водными ресурсами. Предполагается забрать воду из р. Нармада и распределить ее в основном для орошения и водоснабжения. Всего планируется заново оросить 1,8 млн га и обеспечить снабжение питьевой водой 30 млн чел. В настоящее время жители 3800 населенных пунктов пьют солоноватую или содержащую фтор воду. Прооект состоит, в свою очередь, из 30 крупных проектов, 135 средних по размеру и 3000 малых. Подача воды началась в 1997 г. Проект планируется завершить к 2010 г. Он предполагает коренным образом изменить условия жизни населения этого засушливого района. Следует сказать, что проект вызывает очень сильное сопротивление со стороны экологических групп, подчеркивающих, что неблагоприятные экологические последствия проекта превзойдут ожидаемые выгоды.

### *VI.2.2.4. Управление водопотреблением и водохозяйственный баланс*

Эффективное водное хозяйство – это умение уравновесить имеющиеся водные ресурсы территории и спрос на них, не допуская при этом ухудшения качества окружающей среды. Иными словами, это искусство соблюдать водохозяйственный баланс. Имеются два принципиально различных пути его достижения.

(а) Можно увеличивать подачу воды, то есть увеличивать доступный объем возобновимых ресурсов посредством, например, сооружения плотин, переброс воды из другого бассейна, опреснения соленых вод и пр. Иными словами, таким путем можно увеличивать предложение (по-английски, supply). Возможно также отбирать невозобновимые ресурсы из запасов, аккумулированных в подземных водах, озерах, ледниках, но это путь, противоречащий принципам устойчивого развития, и на такие действия можно идти, только ясно осознавая последствия.

(б) Можно также более экономно использовать имеющиеся ресурсы, без их увеличения, то есть снижать спрос на воду (по-английски, demand).

Как правило, при традиционном водном хозяйстве потребность в воде постоянно возрастает, и баланс достигается системой мер, обеспечивающих увеличение подачи воды. Такие меры и возникающие при этом проблемы обсуждались в предшествующих двух разделах. Но баланс между спросом и предложением может быть достигнут также посредством регулирования спроса на воду. Здесь огромное поле деятельности, потому что водные ресурсы используются неэффективно практически во всех странах и во всех отраслях водного хозяйства. Кроме того, снижение водопотребления вызывает меньший ущерб окружающей среде. И, наконец, регулирование спроса – это единственный путь замкнуть водный баланс, когда все ресурсы уже использованы и подача воды уже не может быть увеличена.

Главным пользователем воды в мире является ирригация, расходующая около 65 % всей забираемой воды. В аридных районах этот показатель намного выше, достигая 98 % в случае Египта. Как правило, эффективность орошения очень низкая. Средние цифры, приводимые в литературе, показывают, что только половина или менее забираемой на орошение воды в конечном итоге достигает поливаемого растения на поле.

Необходимо, правда, иметь в виду, что часть неиспользуемой воды пополняет запасы подземных вод или возвращается в водоисточник в виде так называемых возвратных вод.

Повышение эффективности орошения может принести не меньший результат, чем строительство нового водохранилища. При этом стоимость таких мер будет ниже затрат на увеличение подачи воды, а неблагоприятные геоэкологические последствия будут несомненно меньше. Более детально вопросы орошения будут обсуждаться в разделе, посвященном геоэкологическим вопросам сельского хозяйства.

Доля промышленности в водопотреблении мира составляет около 25 %. В странах с достаточным увлажнением, где интенсивное орошение не требуется, эта доля весьма высока. Например, для Англии, Германии и Франции она находится в пределах 71–87 % от суммарного водопотребления. Количество потребляемой воды на единицу производимого промышленного продукта изменяется для одинаковых товаров более чем в 10 раз, в зависимости от типа применяемой технологии. Поэтому снижение спроса на воду в этом секторе водного хозяйства вполне реально. Мы уже говорили о возможности повышения эффективности использования ресурсов в 10 раз. Это относится и к снижению водопотребления в промышленности.

Основная стратегия снижения водопотребления в промышленности – увеличение степени оборачиваемости воды в производственном цикле. Например, в США, по данным 1988 г., однажды забранная вода использовалась в среднем 3–4 раза, прежде чем она выводилась из производственного цикла, а к 2000 г. ожидается увеличение этого показателя до 17 раз да еще при снижении общего объема используемой воды! Заметим, что в конечном итоге, после многих циклов использования в технологическом процессе, остается чрезвычайно загрязненная вода, и вопрос, что с ней делать, далеко не тривиален и не имеет однозначного ответа.

Городское население потребляет не более 10 % всего объема забираемой воды, но это очень дорогая вода, потому что строительство и эксплуатация весьма сложных систем водоснабжения обходится весьма дорого. Типичная величина потерь воды в городских сетях составляет 50 %. В шести крупных городах развивающихся стран потери воды составляют: Манила (Филиппины) – 55–65 %, Джакарта (Индонезия) – 50 %, Мехико (Мексика) – 50 %, Каир (Египет) – 47 %, Бангкок (Таиланд) – 32 %.

В городах развитых стран ситуация в целом не многим лучше, в особенности в городах, где водопроводные сети закладывались

еще в прошлом веке. Всемирный Банк считает, что если потери в городских сетях превышают 25 %, то снижение потерь экономически более целесообразно, чем строительство дополнительных систем водоснабжения.

К потерям в сетях необходимо добавить потери из подтекающих кранов, туалетов и пр. Действия в этом направлении не очень популярны среди тех, кто управляет городским водным хозяйством, потому что это невидная работа, требующая постоянного внимания, дополнительных финансовых затрат и довольно высокой квалификации и дисциплины рабочих.

Значительной экономии воды в домашнем хозяйстве, до 50–70 %, можно также добиться, применяя более эффективные краны, насадки в душе, смывные устройства унитазов и пр., при том же конечном результате, то есть, например, столь же эффективном и приятном принятии душа. Использовать меньше воды в коммунальном хозяйстве совсем не означает быть более грязным. Численность населения древнего Рима была более миллиона человек. Городская система водоснабжения подавала около 1000 л воды на человека в сутки. Современные римляне используют меньше половины этого количества, но, по всей вероятности, уровень их личной гигиены не ниже, чем у их предков.

Таким образом, успешное водное хозяйство – это поддержание баланса между спросом и предложением без ухудшения (по крайней мере) экологического состояния территории. Необходимо сбалансировать также различные, часто конфликтные интересы и задачи различных общественных групп и секторов экономики. Например, для бассейна Волги труднейшая и ежегодно возникающая проблема заключается в нахождении оптимального режима работы каскада водохранилищ таким образом, чтобы были соблюдены интересы различных секторов экономики (гидроэнергетики, судоходства, рыбного хозяйства, орошения и пр.), при условии соблюдения установленной заранее приоритетности этих секторов. Неудивительно, что зачастую наилучшее, устраивающее всех решение не может быть достигнуто, и стороны должны идти на компромисс таким образом, что улучшение состояния по одному из критериев достигается за счет ухудшения другой альтернативы.

Водное хозяйство региона (или, лучше, бассейна) должно базироваться на многокритериальной и междисциплинарной основе. Необходимо комбинировать инженерные, экономические, экологические, юридические, социальные, политические действия, потому что ни один из них, взятый в отдельности, не

может обеспечить эффективные и долговременные решения водных проблем.

Экономика использования водных ресурсов требует большего внимания. Пока что вода во всем мире имеет низкую цену, а то и вовсе бесплатна, что ведет к неэффективному использованию водных ресурсов и, как следствие, к серьезным экологическим проблемам. Это делает водное хозяйство уязвимым, или, иными словами, экологически и экономически неустойчивым (non-sustainable). Подсчитано, например, что потребление воды тепловыми электростанциями США уменьшится в 50 раз, если цена на воду увеличится в 5 раз.

Строго говоря, все затраты, связанные с водным хозяйством, такие как стоимость сооружений и их эксплуатации, должны быть включены в цену, так же как и стоимость экологических последствий водного хозяйства, таких, например, как потеря рыбных ресурсов, засоление почв или загрязнение воды. Установление цены на воду, которая отражала бы истинные затраты, приведет, вследствие важности и вездесущности воды как ресурса, к изменению всей системы цен. Но такой проект не может быть осуществлен в одной стране.

### *VI.2.3. Геоэкологические особенности бессточных областей мира*

С точки зрения гидрологического режима территории мира делятся на три группы: а) области со стоком в Мировой океан; б) области со стоком в замкнутые депрессии, в настоящее время не соединяющиеся с океаном (бессточные области); в) области, не образующие стока (или дающие его чрезвычайно редко). Площадь двух последних категорий вместе взятых – около 35 млн км$^2$, что составляет около 1/4 площади суши мира, причем подавляющую часть образуют области со стоком в замкнутые депрессии. К ним относятся столь большие территории, как бассейн Каспийского моря, Аральского моря, оз. Лобнор в Китае, оз. Чад и р. Окаванго в Африке и многие другие. Эти области выделяются своими специфическими природными особенностями, и благодаря им они отличаются столь высокой реакцией на деятельность человека в бассейне, что этот вопрос заслуживает специального обсуждения.

Как правило, бессточные области располагаются в аридных районах, где потенциальное испарение с поверхности бассейна (испаряемость) за год превышает годовой слой осадков. Обычно сток формируется в верхней части бассейна, так называемой зоне

формирования стока, где слой осадков больше потенциального испарения. В нижней части бассейна, так называемой зоне рассеивания стока, осадки меньше испарения. Река в этой части бассейна питания уже не получает (это так называемая транзитная река), а приходящий сверху сток реки расходуется на испарение, инфильтрацию в берега и пр. и постепенно сокращается вниз по течению реки. Оставшийся речной сток достигает концевого водоема, обычно озера или болота, и также в конце концов расходуется на испарение.

Простейшее уравнение водного баланса концевого водоема выглядит следующим образом:

$$R + P_s - E = \Delta W,$$

где R – сток в водоем, $P_s$ – осадки на поверхность водоема, E – испарение с поверхности водоема, $\Delta W$ – изменение объема воды в водоеме.

Вследствие бессточности концевого водоема все изменения водного баланса озера, в конечном итоге, отражаются в изменении его объема, а значит, и в изменении уровня воды озера. Как мы уже знаем, изменения состояния бассейна хорошо отражаются в режиме стока с него. Поэтому природные колебания водного баланса бассейна, в конечном итоге, определяют колебания уровня воды. В отличие от проточных озер, значительные колебания уровня воды – отличительная природная особенность бессточных озер.

Деятельность человека в бессточном бассейне часто оказывает самое серьезное влияние на режим концевого водоема. Поскольку бессточные бассейны обычно располагаются в аридных районах, или, что то же, в областях недостаточного увлажнения, в этих районах необходимо орошение сельскохозяйственных земель. По мере развития орошения увеличивается водозабор из реки и, соответственно, сокращается приток в концевой водоем. Вследствие деятельности человека происходит перестройка гидрологических процессов во всем бассейне, что влечет за собой изменение всей природно-хозяйственной системы.

Самым ярким и трагическим примером взаимосвязи деятельности человека в бессточном бассейне и гидрологического режима реки и озера является *современная история Аральского моря,* отражающая крупнейшую в мире геоэкологическую катастрофу. Состояние этого большого бессточного озера с еще недавно солоноватой водой зависит от гидрометеорологической обстановки в бассейнах рек Амударья и Сырдарья. Водные ресурсы этих рек при выходе из гор составляют примерно 110 км$^3$

в год. Они традиционно, в течение тысячелетий, использовались на орошение наиболее удобных территорий у подножия гор. Площади традиционного орошения были около 5 млн га, расходовавшие около половины водных ресурсов. В Аральское море поступало около 55 км$^3$ воды в год, что обеспечивало относительную стабильность его уровня и других гидрологических характеристик. Арал был четвертым по площади озером мира.

Начиная с конца 1950-х гг. в бассейне Арала осуществлялась государственная политика развития ирригации, в основном в целях увеличения производства хлопка. К концу 1980-х гг. площади орошения увеличились приблизительно наполовину; при этом потери воды в каналах и на полях превосходили все разумные пределы. В частности, был построен Каракумский канал, забирающий из Амударьи не менее 10 км$^3$ в год. Несмотря на преимущественно песчаные грунты, ложе канала в основном не облицовано и потери на фильтрацию чрезвычайно велики.

В результате развития орошения речной сток в Арал начал убывать, и в 1980 г. обе реки впервые не достигли Арала. В 1980-х гг. приток речных вод составлял лишь несколько кубических километров в год. Море быстро сокращалось, а соленость воды увеличивалась (табл. 10).

*Таблица 10*

**Изменения основных характеристик Аральского моря**

| Год | Уровень, м над ур. м | Площадь, км$^2$ | Объем, км$^3$ | Соленость воды, г/л |
|---|---|---|---|---|
| 1960 | 53,3 | 67900 | 1090 | 10,0 |
| 1965 | 52,5 | 63900 | 1030 | 10,5 |
| 1970 | 51,6 | 60400 | 970 | 11,1 |
| 1975 | 49,4 | 57200 | 840 | 13,7 |
| 1980 | 46,2 | 52500 | 670 | 16,5 |
| 1985 | 42,0 | 44400 | 470 | 23,5 |
| 1990 | 39,0 | 38000 | 300 | 29,0 |

В многоводные для Центральной Азии 1992–1994 гг. приток Амударьи был 18,8—28,9 км$^3$, а Сырдарьи – 4,6–8,9 км$^3$. Это замедлило, но не остановило падение уровня воды Арала. Все посты наблюдений за уровнем воды обсохли, и наблюдения прекратились. Соленость воды достигла морской (около 35 г/л).

Резкое увеличение солености воды полностью погубило рыбное население моря. Исчезли многие ценные эндемичные виды рыб, привыкшие к существованию в солоноватой воде озера

и пресной воде рек, в зависимости от стадий их развития. Вместе с рыбой исчезло процветающее рыболовство, а население лишилось занятости. На бывшем дне образовалась соляная пустыня, развеваемая ветром, так что прилегающие территории получают за год более 500 кг солей на гектар. Деградировали уникальные экосистемы пойменных лесов долины и дельты Амударьи и Сырдарьи. Соленость воды в низовьях рек увеличилась до 1,5–2 г/л, а иногда и до 3 г/л, при большом количестве растворенных остатков пестицидов. Несмотря на это, во многих селениях речная вода все еще вынужденно используется как источник питьевого водоснабжения.

В результате комплекса обстоятельств заболеваемость населения Приаралья увеличилась за последние 20 лет в 20 раз. Число случаев заболеваний раком в Каракалпакии в семь раз превышает средний показатель для бывшего СССР. Анемией страдает более 90 % населения. В Нукусе все 35 взятых образцов материнского молока оказались непригодны для питания младенцев. Детская смертность в низовьях Амударьи и Сырдарьи стала сравнимой с наиболее отсталыми странами мира, превысив 110 на 1000 новорожденных. Территория Приаралья превратилась в зону экологического бедствия.

Положение выше по течению Амударьи и Сырдарьи не намного лучше. Преобладает монокультура хлопка, которую можно поддерживать при очень высоком уровне использования удобрений, пестицидов и дефолиантов. Чрезвычайно высоки потери воды из магистральных каналов и оросительных систем. При этом дренажные воды накапливаются в бессточных понижениях рельефа, образуя в пустыне болота и озера, два из которых, Сарыкамыш и Арнасай, имеют весьма значительные размеры.

Многолетнее, фактически принудительное использование труда учащихся на сборе хлопка стало одной из причин низкого качества школьного и высшего образования. К этим факторам следует добавить очень высокий прирост населения, в особенности сельского, плохое медицинское обслуживание, высокий уровень безработицы при малой мобильности коренного населения. Все эти процессы сплелись в сложный клубок взаимозависимости человека и природы, то есть естественных, социальных, экономических и политических проблем, индикатором которых является состояние Аральского моря. Поэтому и решение геоэкологических проблем Арала может быть достигнуто только посредством долгосрочной программы всестороннего развития всех стран, находящихся в его бассейне, при условии сотрудничества между ними. Так неправильно

выбранная стратегия развития водного хозяйства привела к крупнейшему геоэкологическому кризису. На примере Арала мы видим также центральную роль водных ресурсов и водного хозяйства в развитии, или, скорее, деградации крупного региона.

Многие бессточные озера засушливых областей мира испытывали во вторую половину этого столетия общую тенденцию понижения уровня воды. К ним относятся, например, Балхаш, Иссык-Куль, Чад, Туркана, Лобнор и др. Наряду с естественными причинами падения уровня, роль деятельности человека велика, а во многих случаях она стала определяющей, как и в случае с Аралом.

Особая *ситуация с Каспийским морем.* Волга приносит около 80 % всего притока речной воды в это крупнейшее озеро мира и определяет основные черты колебаний его уровня. Отличительной чертой Каспия являются весьма значительные и относительно резкие колебания уровня моря. За историческое время, то есть примерно за 2500 лет, уровень воды колебался в пределах от 20 до 34 м ниже уровня Мирового океана. Весьма типичны колебания уровня на 1,5 м за 10 лет, или на 10 м за 1000 лет.

Средний годовой баланс Каспийского моря за 1900–1985 гг. выглядит следующим образом (км$^3$ за год):[7]

| | |
|---|---|
| Приток воды рек | +298 |
| Осадки на поверхность моря | +74 |
| Испарение с поверхности моря | −370 |
| Отток в залив Карабогазгол* | −14 |
| Итого | −12 |

Средний годовой дефицит уравнения водного баланса (-12 км$^3$) соответствовал падению уровня воды на 3,1 см.

С начала столетия до 1929 г. уровень воды был относительно стабилен, с флуктуациями около 26,2 м ниже уровня океана. В 1930–1941 гг. вследствие маловодья рек, в том числе Волги, объясняемого в основном естественными причинами, уровень упал на 1,8 м. За 1942–1977 гг. уровень снизился еще на 1,3 м. Наинизший уровень был отмечен в 1977 г., когда он был равен 29,0 м. С тех пор и до 1997 г. уровень поднимался, достигнув 26,5 м.

Колебания уровня воды на 90 % объясняются естественными причинами, но все же на 10 % они обусловлены антропогенными причинами, так что даже столь большое озеро не является исключением из общего правила, и можно ожидать, к сожалению,

дальнейшего усиления роли человека в колебаниях уровня Каспия.

Длительное падение уровня Каспия в 1930–1977 гг. привело к ошибочному мнению о необратимости его дальнейшего снижения вследствие антропогенной деятельности в бассейне (в первую очередь заполнение новых водохранилищ и забор воды на орошение). В результате все новые сооружения были привязаны к низкому уровню воды Каспия, и при современном росте уровня они подвергаются периодическому или постоянному затоплению, принося огромные экономические потери. К этой категории относятся населенные пункты, железные и автомобильные дороги, места добычи и транспортировки нефти и газа, портовые сооружения и др. На плоских берегах Каспия широко развиты штормовые нагоны воды, когда уровень поднимается на 3–4,5 м и вода проникает вглубь территории на 30–50 км.

Долгосрочная стратегия хозяйственного использования побережья Каспия должна учитывать его характерную особенность – значительные и пока непредсказуемые изменения уровня воды. Отметка моря минус 25 м принята как основной уровень для планирования и проектирования в России и Казахстане. При этом капитальные сооружения не должны располагаться ниже уровня минус 23 м.

Каспийское море, и в особенности его северная часть, отличается очень высокой рыбной продуктивностью благодаря теплой воде мелководья с большим количеством биогенных веществ. К тому же этот водоем – важнейшее в мире вместилище осетровых пород рыб, дающее 90 % их мирового улова. Вследствие антропогенной деятельности в бассейне Каспия уловы сокращаются, качество осетровых снижается и доля их в уловах уменьшается. Основные причины сокращения уловов: плотины на реках бассейна, являющиеся препятствием для проходных рыб, мечущих икру в верхней части течения рек; перехват биогенных веществ плотинами, в особенности соединений фосфора, адсорбируемых на тонких частицах речных наносов, отлагающихся в водохранилищах; загрязнение воды в результате всех видов антропогенной деятельности; хищнический, плохо контролируемый лов рыбы.

Каспийское море и прилегающие территории содержат наибольшие в мире запасы газа и третьи по размеру запасы нефти. Значительная часть этих запасов залегает на берегах и в донных геологических структурах моря. Высокое уже сейчас нефтяное загрязнение угрожает заметно усилиться, а сопутствующие нефти и газу геоэкологические инженерные проблемы, такие как разливы нефти, пожары и загрязнение

воздуха, деградация ландшафтов и др., могут, без надлежащего контроля, создать еще одну область экологического бедствия.

Любая бессточная область, включая Каспийское море и его бассейн, представляет собой единую природно-хозяйственную систему, которая должна управляться из единого центра. Это не наблюдается на Каспии. Более того, в поисках быстрых, краткосрочных прибылей от нефти и газа делаются попытки разделить море на участки, принадлежащие разным странам. В таком случае Каспийское море практически неизбежно превратится в мертвый и грязный водоем, на дне которого все еще будут значительные запасы горючих ископаемых, может быть, уже ненужных вследствие высоких эмиссий парниковых газов и потому значительного изменения климата.

### *VI.2.4. Вопросы качества вод суши*

Как уже обсуждалось выше, реки играют роль интеграторов многих природных процессов. В частности, реки в их естественном состоянии играют роль дренажных систем, собирающих с бассейна сток вместе с переносимыми им растворенными, взвешенными и влекомыми веществами. Природные воды – это всегда сложные растворы, обычно содержащие много химических веществ. Естественная концентрация растворенных веществ в речных водах обычно не превышает 1 г/л. Вода рек переносит также взвешенные и влекомые наносы, тоже влияющие на качество воды. Естественные речные воды обычно бывают достаточно приемлемого качества для большинства потребителей и не требуют значительной обработки.

Фактически деятельность человека постепенно превращает реки из дренажных систем в сточные канавы, иногда с очень высоким уровнем загрязнения (свыше 100 ПДК). Мы говорили ранее, что состояние реки отражает состояние ее бассейна. Пока в бассейне преобладают природные процессы, речной сток переносит естественные растворенные вещества. Но по мере того как деятельность человека (промышленность, сельское хозяйство, строительство и др.) усиливает миграцию химических веществ, их концентрация в природных водах повышается, то есть ухудшается качество воды. При этом в природную среду, в том числе в природные воды, попадают вещества антропогенного происхождения, часто посторонние для данных природных условий, с неблагоприятными свойствами, в том числе токсичные. Общее количество загрязняющих веществ в воде

достигает нескольких тысяч.

Например, изменения химического состава воды р. Рейн отражают историю изменения состояния ее бассейна. Естественное содержание хлоридов в водах Рейна было порядка 10–20 мг/л. С прошлого века, из-за промышленного развития бассейна, оно постепенно росло, увеличившись на порядок величины, так что к 1980 г. среднее содержание хлоридов в воде Рейна на границе Нидерландов и Германии стало 168 мг/л.

Вследствие очень высоких темпов экономического развития после Второй мировой войны и соответствующего увеличения отходов, вода реки стала содержать все большее количество органических биодеградируемых веществ. Поэтому качество воды, в данном случае хорошо отражаемое концентрацией растворенного кислорода в воде, сокращалось и достигло минимума в 1971 г. Дефицит кислорода стал после этого уменьшаться, приходя в норму благодаря вводу в эксплуатацию ряда сооружений по очистке сбрасываемых вод. Концентрация растворенного кислорода в нижнем течении Рейна продолжала расти, увеличившись за 1970-е гг. вдвое. С 1950-х гг., и в особенности в 1960-х, резко (в 4–6 раз) увеличилась концентрация нитратов и фосфатов вследствие заметного роста в применении продуктов химической промышленности в сельском и домашнем хозяйстве. Эта проблема также к настоящему времени решена. Качество воды Рейна продолжает улучшаться, причем настолько, что правительства стран бассейна предполагают, чтобы в реку вернулись лососевые рыбы, требующие воду очень высокого качества.

Главными источниками загрязнения природных вод являются предприятия черной и цветной металлургии, химической, нефтяной, газовой, угольной, целлюлозо-бумажной промышленности, сельское хозяйство (как земледелие, так и интенсивное животноводство), коммунальное хозяйство.

Величина сброса сточных вод в водоемы России около 70 км$^3$. Из этого количества в реки ежегодно сбрасывается приблизительно 27 км$^3$ загрязненных сточных вод, требующих как минимум 10—12-кратного разбавления, а для ряда веществ и разбавления в 50—200 раз. (Для сравнения, средняя величина речного стока России равна 4260 км$^3$ в год.)

Основные показатели загрязнения природных вод следующие:

– растворенный кислород (чем выше его содержание, тем лучше качество воды);

– показатель биохимического потребления кислорода (БПК). Чем выше показатель, тем больше в воде загрязняющих веществ

и, следовательно, тем хуже качество воды);

– содержание в воде микроорганизмов. Их показателем служит содержание кишечной палочки (колититр);

– содержание в воде аммония ($NH_4$), нитратов ($NO_3$'), нитритов ($NO_2$), нефти и нефтепродуктов, фенолов, синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), тяжелых металлов.

Химические и физические параметры воды отражают ее состояние и являются предметом гидрологии как естественной науки. Параметры качества воды отражают требования, предъявляемые к ней различными потребителями. Поэтому качество воды – категория как естественная, так и социально-экономическая.

Так же как в случае с загрязнением воздуха, обсуждавшемся ранее, для России основное нормативное требование к качеству воды в водных объектах заключается в соблюдении установленных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ (ПДК). Для того чтобы гарантировать ожидаемое качество воды с содержанием загрязняющих веществ не выше ПДК, для предприятий устанавливается величина предельно допустимого сброса поллютантов (ПДС).

В России ПДК по разным показателям превышены на основном протяжении следующих рек: Волга, Дон, Терек, Урал, Обь, Енисей, Амур. При этом измерения концентрации загрязнителей производятся только для списка веществ, состоящего из десятка названий, тогда как промышленность сбрасывает в водоемы вместе со сточными водами сотни и тысячи различных веществ.

В Российской Федерации население в целом не обеспечено питьевой водой надлежащего качества вследствие неудовлетворительного состояния как источников воды (поверхностной и подземной), так и систем централизованного водоснабжения. Примерно 30 % исследуемых проб не отвечают гигиеническим требованиям по санитарно-химическим и микробиологическим показателям. Речные воды России содержат штаммы холеры, тифа, дизентерии, вирусного гепатита и других болезней.

Загрязненная вода взаимосвязана с возникновением и распространением болезней. В развивающихся странах 25 млн. чел. умирает каждый год вследствие воздействия патогенов и загрязнений питьевой воды. От диареи умирает ежегодно 3 млн детей в возрасте до 5 лет. Около 80 % всех заболеваний в мире связаны с питьевой водой неудовлетворительного качества. К 1990 г. более 1 миллиарда человек не обеспечено чистой

питьевой водой и более 1,7 миллиарда не обеспечено канализацией.

Даже в США – стране, относительно благополучной с точки зрения качества питьевой воды, существует серьезная проблема желудочно-кишечной инфекции, вызванной видами простейших микроорганизмов *Cryptosporidium* и *Giardia*. Ежегодно более 700 000 жителей США заражается криптоспоридиозом. Во время эпидемии в г. Милуоки в 1993 г. заболело 400 000 чел. и умерло 104. Это одна из серьезных болезней, вызванных микробами, потому что инфекция вызывается очень малой дозой и она может быть резистентна по отношению к обычно применяемым методам дезинфекции питьевой воды. Например, хлорирование воды оказывается в этом случае неэффективным.

Существуют две основные категории источников загрязнения водных объектов: источники точечного загрязнения и рассеянного загрязнения. К первой категории относятся, например, сбросы промышленных предприятий и очистных сооружений коммунальных стоков. Ко второй категории относятся, например, загрязнения, связанные с сельским хозяйством, такие как загрязнения вод продуктами удобрений и пестицидов. Стратегии управления точечным и рассеянным загрязнением весьма различны. В первом случае необходимо иметь дело с каждым источником, в то время как при рассеянном загрязнении необходимо осуществлять стратегию управления всем речным бассейном, а точнее говоря, стратегию управления состоянием ландшафтов бассейна, в особенности антропогенно трансформированных.

В стратегиях по улучшению качества воды, как правило, начинают с точечного загрязнения и по достижении определенных успехов затем обращаются к регулированию рассеянного загрязнения. В России пока основное внимание, да и то недостаточное, уделяется контролю точечного загрязнения.

Загрязняющие воду вещества и их индикаторы могут быть также разделены на несколько групп, вызывающих специфические проблемы качества воды в различных типах водных объектов и, соответственно, требующие различных стратегий их контроля.

• Микробиологические индикаторы, связанные со здоровьем человека (концентрация кишечной палочки как индикатор количества патогенных бактерий и др.).

• Взвешенные вещества (общее содержание, мутность и прозрачность воды).

• Органические вещества. Индикаторы загрязнения: растворенный кислород, биохимическое и химическое потребление кислорода (БПК и ХПК), фосфаты, хлорофилл-А.

• Биогенные вещества (соединения азота и фосфора).

• Основные ионы (общее количество растворенных веществ, электропроводность, pH, кальций, магний, натрий, калий, хлориды, сульфаты, бикарбонаты, бор, фтор, жесткость воды).

• Неорганические микрозагрязнители (алюминий, мышьяк, бериллий, кадмий, хром, кобальт, медь, цианиды, сероводород, железо, свинец, литий, марганец, ртуть, молибден, никель, селен, ванадий, цинк).

• Органические микрозагрязнители (Их много: полихлорированные бифенилы (диоксины), бензапирен, пестициды и др.; они очень вредны даже в очень малых концентрациях; вследствие их малой концентрации их определение представляет большие трудности).

Основные типы проблем, связанных с загрязнением различных водных объектов, представлены в табл. 11.

*Таблица 11*

**Основные проблемы качества воды**

| Водный объект | Проблемы качества воды | |
|---|---|---|
| | Специфические для водного объекта | Всеобщие |
| Реки | Патогены<br>Органические вещества<br>Взвешенные вещества<br>Асидификация | Тяжелые металлы |
| Озера и водохранилища | Эвтрофикация<br>Асидификация | |
| Подземные воды | Повышение минерализации<br>Повышение концентрации нитратов | Органические микрозагрязнители |

Рассмотрим основные особенности этих проблем.

*Заражение патогенами* – очень важный фактор высокой заболеваемости и смертности от желудочно-кишечных болезней. Оно находится в прямой зависимости от плотности населения и уровня его социально-экономического развития и потому в большей степени характерно для развивающихся стран. В развитых странах вода в системах питьевого водоснабжения обрабатывается, в то время как в развивающихся странах обработка не всегда удовлетворительна, если она вообще производится. Даже в развитых странах загрязнение патогенами контролируется не полностью, как мы это только что видели в случае с криптоспо-ридиозом в США. В развивающихся странах

оно широко распространено вниз по течению от городов и густонаселенных сельских территорий вследствие недостаточного развития канализации и систем очистки воды. В Индии, например, достаточно полная очистка сточных вод в конце 1980-х гг. производилась только в 8 городах из 3119 и в 217 городах производилась частичная обработка. Река Ямуна, протекающая сквозь Нью-Дели, получает ежесуточно 0,2 млн куб. м совершенно необработанных сточных вод. В результате индекс патогенного загрязнения воды увеличивается в пределах города в 3200 раз, достигая 24 млн колипалочек на 100 мл воды. Высокий уровень загрязнения патогенами и органическими веществами отмечается в р. Ганг, где осуществляется специальная программа улучшения состояния этой великой реки Индии.

Заражение патогенами и загрязнение органическими веществами взаимосвязаны. *Органические вещества* – самая большая группа загрязнителей, исторически появляющаяся обычно первой, в самом начале процесса загрязнения реки. Они попадают в воду в растворенном или взвешенном виде, главным образом со стоками канализации или с нерегулируемыми бытовыми стоками. В отдельных местах целлюлозно-бумажная и пищевая промышленность также вносят свой заметный вклад. Географическое распространение загрязнения органическими веществами в целом совпадает с распространением патогенного заражения.

При относительно небольшом уровне сбросов загрязняющих веществ по сравнению со стоком реки, принимающей загрязнения, загрязненная вода перемешивается с речной, и качество воды в реке, хотя и ухудшающееся, остается все же приемлемым. Обычный уровень разбавления – порядка 10–12 раз. При росте объема сточных вод разбавление уже не решает проблему («Solution to pollution is not dilution»[8]). Здесь видна аналогия с высокими и сверхвысокими трубами как средством снижения загрязнения воздуха вблизи предприятия за счет перемешивания загрязнений с более чистым воздухом. В обоих случаях стратегия разбавления – это лишь временное и неглубокое решение проблемы.

Реки обладают значительной самоочищающей способностью благодаря растворенному в воде кислороду, количество которого постоянно пополняется из атмосферы вследствие турбулентного режима течения рек. Когда поступление органических веществ в реку начинает превышать ее самоочищающую способность, загрязнение воды прогрессивно возрастает. Для решения проблемы загрязнения воды органическими веществами и патогенами необходимо осуществлять комплекс мероприятий.

Главную роль здесь играет снижение объема поступающих с бассейна загрязнений и, с другой стороны, строительство очистных сооружений.

За последние два-три десятилетия, вследствие целенаправленной стратегии, загрязнение природных вод патогенами и органическими веществами в развитых странах уменьшилось. Увеличилась концентрация растворенного кислорода и снизилась величина БПК. Были затрачены значительные усилия по снижению притока сточных вод и вложены значительные средства в строительство очистных сооруженией и модернизацию существующих, причем они выполняют не только первую и вторую стадии очистки (механическую и биологическую соответственно), но и во многих случаях третью, химико-биологическую, очищающую сточные воды от соединений фосфора и азота.

В развивающихся странах, наоборот, загрязнение органическими веществами и заражение патогенами растут вследствие увеличения объема бытовых стоков при низком качестве или отсутствии систем очистки сточных вод. Для более чем 1,7 млрд жителей развивающихся стран необходимо построить инженерные системы канализации. Поскольку содержание кислорода в воде обратно пропорционально ее температуре, климатические условия развивающихся стран также играют неблагоприятную роль в снижении самочищающей способности рек. Несмотря на значительные успехи в строительстве систем питьевого водоснабжения и канализации в развивающихся странах, расширение этих систем не поспевает за ростом населения и в особенности за увеличением численности населения крупных городов, и общий уровень загрязнения воды продолжает увеличиваться, превращая эту геоэкологическую проблему в одну из важнейших.

*Взвешенные вещества* в речных водах – это преимущественно тонкие частицы почвы. Концентрация взвешенных наносов является показателем степени водной эрозии почвы и потому состояния бассейна. Сельское хозяйство играет значительную роль в этом процессе. В целом, при прочих равных условиях, чем выше площадь пахотных земель, тем больше сток наносов.

Общий сток наносов по рекам мира оценивается приблизительно в 20 млрд т в год. Перемещение наносов в пределах речных бассейнов, по крайней мере, в пять раз больше, порядка 100 млрд т. Деятельность человека значительно увеличивает сток наносов, во многом благодаря нарушению естественного состояния поверхности почв в бассейне реки. Антропогенно увеличивающийся сток наносов приводит к

ухудшению условий судоходства на реках, заилению водохранилищ и оросительных систем. Имеются расчеты, указывающие, что в США экономические потери от эрозии почвы меньше, чем ущерб от наносов, переносимых реками.

Тонкие частицы почвы, переносимые в виде наносов, обычно адсорбируют на своей поверхности соединения фосфора. Это тот самый ил, который р. Нил приносила на поля каждое половодье, поддерживая плодородие почв Египта в течение тысячелетий. После сооружения плотин на реках почти все наносы аккумулируются в водохранилищах вместе с адсорбированным фосфором. Это ведет к снижению как плодородия почв, так и рыбной продуктивности в нижних бьефах плотин. Мероприятия по снижению эрозии почвы в бассейнах рек в то же время управляют перемещением фосфора в бассейне. Мы снова видим высокую степень сложности взаимосвязей в экосфере и ведущую роль воды в управлении территориальными системами.

Причины и факторы *асидификации* обсуждались в разделе V.4. Принято, что природные воды находятся в состоянии асидификации, если показатель их кислотности (pH) равен или меньше 5,0. В Швеции насчитывается 85.000 озер. Из них 4000 рассматриваются как серьезно асидифицированные и 18 000 бывают подкисленными в некоторые критические периоды, в особенности во время снеготаяния. В 4500 озерах почти нет рыбы, а 1800 озер столь асидифицированы, что стали почти безжизненными. В южной Норвегии тысячи озер асидифицированы, из них 1750 потеряли рыбу. В Финляндии асидифицированы 500 озер из 8000. В Швеции pH воды озер уменьшился от более чем 6,0 в 1940-х гг. до менее чем 5,0 в 1970-х гг, то есть кислотность выросла более чем в 10 раз, и с тех пор pH почти не меняется. Имеется много указаний на асидификацию озер в Канаде, США, Дании, западной и северной Великобритании, Германии, Нидерландах, Австрии, Швейцарии.

Многие процессы в экосфере определяются кислотно-щелочными реакциями, то есть зависят от величины pH. Все биологические процессы в водоемах, такие как рост водорослей, распад микроорганизмов, нитрификация и денитрификация, имеют свою оптимальную величину pH, обычно в пределах 6–8. Изменения флоры и фауны в водных экосистемах – важный индикатор асидификации. В озерах восточной Канады ракообразные, насекомые, некоторые водоросли и зоопланктон исчезают уже при $pH = 6{,}0$. В связи с высокой токсичностью для рыб иона алюминия, весьма мобильного при $pH < 5{,}5$ и потому появляющегося в воде озер, количество видов рыб и их численность сокращается. Рыбные популяции исчезают при

уменьшении pH до 5,0. При pH < 5 репродукция земноводных ограничивается. Подобная картина характерна и для озер Скандинавии.

Асидификацией озер можно в определенной мере управлять. Общая цель заключается в уменьшении кислотности воды до уровня pH > 5,0. Существуют два основных подхода: а) снижение выпадения кислотных осдков на озеро и весь его бассейн; б) непосредственное воздействие на воду, главным образом путем ее известкования.

Мы уже обсуждали вопросы снижения кислотных выпадений в разделе V.4. Воздействие на воду как озер, так и их притоков достигается посредством внесения известняка. Стоимость его в Скандинавии составляет примерно 10–25 долларов США за тонну, включая стоимость затрат по внесению вещества. Около четвертой части площади Швеции, или около 118 000 кв. км, нуждаются в известковании. Стоимость таких работ составляла бы более 20 млн долларов в год. Известкование в Швеции проводится на примерно 3000 озер. Одна из важных проблем при этом – необходимость учитывать накопление тяжелых металлов в озере (кадмия, никеля, ртути, хрома, меди, цинка), поскольку известняк содержит их в определенных концентрациях.

После известкования химическое состояние воды озера быстро улучшается и реакция становится близкой к нейтральной. Биологическое восстановление происходит медленно, а популяция рыб полностью не восстанавливается даже в течение пяти лет после известкования. Для поддержания озер в удовлетворительном состоянии известкование необходимо периодически повторять.

Слово *эвтрофикация* буквально означает процесс усиленного питания. Избыточное поступление биогенных веществ, то есть соединений фосфора и азота, в озера, водохранилища и устья рек, а также в морские прибрежные воды приводит к взрывному росту водных растений, в особенности микроскопических водорослей, а также и макрофитов. Происходит периодическое бурное развитие («цветение») водорослей, которое может охватывать крупные по площади водохранилища, такие как водохранилища Волжского и Днепровского каскадов. После цветения микроскопические водоросли отмирают, зачастую отбирая из воды весь растворенный кислород для окисления и декомпозиции этой биомассы. Качество воды ухудшается как во время цветения, так и во время деструкции отмерших водорослей.

Эвтрофикация приводит к ряду неблагоприятных экономических последствий: ухудшение качества воды, снижение рекреационной ценности озера, снижение рыбной популяции,

блокирование водосбросов, каналов и даже навигационных путей.

Эвтрофикация – это медленно развивающийся естественный процесс. Однако, во многих местах он сильно ускоряется в результате деятельности человека, становясь, таким образом, процессом экологической деградации. Эвтрофикация – это также и проявление серьезных антропогенных изменений глобальных биогеохимических циклов фосфора и азота. Главными источниками поступления азота и фосфора являются сельское хозяйство (как полеводство, так и животноводство) и бытовые стоки. В большинстве случаев основной причиной эвтрофикации является увеличение нагрузки соединений фосфора, но иногда ведущую роль играет азот. Управление эвтрофикацией обычно направлено на снижение фосфорной нагрузки. Бассейн озера рассматривается как единое целое, и действия основаны на тщательном анализе источников фосфора, затрат на его удаление или снижение нагрузки, социальных или политических обстоятельств. Это типичная задача системного анализа, с успехом неоднократно применявшегося, например, к решению проблемы Балатона.

Озеро Балатон в Венгрии – самое большое озеро в Средней Европе. Мелкое озеро (средняя глубина 3 м) с хорошо прогреваемой летом водой привлекает на свои берега до 1 млн туристов, являющихся важным источником доходов венгерской экономики. Большой приток отдыхающих – это и благо, и вред для озера. Часть бытовых стоков попадала непосредственно в озеро, на дне которого накапливались соединения биогенов. Самый крупный приток озера, р. Зала, прежде чем достичь озера, протекала через озеро-болото Киш-Балатон, где отлагались тонкие частицы речных наносов, обогащенные фосфором. Некоторое время тому назад было решено ликвидировать Киш-Балатон, и основное озеро начало дополнительно получать избыточный фосфор, соединения которого также аккумулировались на дне озера. Каждый более или менее сильный ветер перемешивает всю толщу воды мелкого озера, подавая в воду соединения фосфора вместе с мутью со дна. В результате процесс эвтрофикации озера ускорился; в части озера, примыкающей к устью Залы, стало наблюдаться цветение воды. Это стало угрожать доходам, получаемым от туризма. Управление режимом Балатона стало одной из важных государственных задач. Был восстановлен Киш-Балатон, ограничено применение удобрений, построены системы канализации. Рост эвтрофикации озера приостановлен, хотя полной уверенности в том, что процесс обратим, пока нет.

Проблема антропогенной эвтрофикации водоемов и

прибрежных зон морей возникла в развитых странах 20–30 лет тому назад. Сейчас появляются признаки серьезности проблемы эвтрофикации во многих развивающихся странах мира, например, в Бразилии, Филиппинах, Китае, Марокко и др., и нет сомнения, что этот процесс, основанный на интенсификации глобальных биогеохимических циклов биогенных элементов, будет расширяться и усиливаться.

Важнейший источник нитратов в природных водах и источниках водоснабжения – сельскохозяйственные удобрения. *Нитраты* отличаются высокой растворимостью, и потому значительная их часть (не менее 15 % от исходного количества) уходит в водные объекты, прежде всего в подземные воды. Чем выше интенсивность сельского хозяйства и продолжительнее история применения удобрений, тем больше нитратное загрязнение. Во многих странах Западной Европы (Германия, Чехия, Дания, Франция и др.) примерно половина скважин и колодцев содержит воду, непригодную для употребления из-за повышенного содержания нитратов. Высокий уровень концентрации нитратов отмечен и в других местах, в том числе в развивающихся странах, где главными источниками загрязнения могут быть области высокой плотности населения, не охваченные инженерными системами канализации. Находящиеся в избыточной концентрации в питьевой воде, нитраты могут вызвать проблемы со здоровьем, в особенности болезнь крови у детей и риск рака у взрослых. Установленная Всемирной Организацией Здравоохранения (ВОЗ) норма содержания нитратов в питьевой воде – 11 мг азота N в виде $NO_3$.

Проникновение нитратов в подземные воды, как и вообще загрязнение подземных вод, – серьезная проблема, потому что скорости движения подземных вод несравнимо меньше поверхностных, и раз проникнув в гидрогеологическую формацию, загрязненная вода может оставаться там весьма продолжительное время, даже если поступавшее с поверхности загрязнение приостановлено. Когда загрязнитель уже находится в зоне аэрации и движется книзу, мало что можно сделать для исправления положения. Регулирование поступления нитратов с поверхности представляет собой типичную стратегическую задачу управления рассеянным загрязнением.

*Минерализация* воды – термин, означающий содержание в воде растворенных веществ. Усиление деятельности человека приводит к росту содержания в воде основных ионов, встречающихся в природе (хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов, кальция, натрия, калия – в зависимости от климатических условий). В особенности повышается

минерализация вод вследствие развития орошения в басейнах рек аридных районов, где возвратные воды приносят в реки много веществ, выщелоченных из почвенных горизонтов. В низовьях Сырдарьи, например, за последние 30 лет минерализация увеличилась от менее чем 1 г/л до почти 3 г/л. Подобная картина характерна также для Амударьи и р. Колорадо. В соответствии с соглашением между Мексикой и США, северный сосед должен подавать в Мексику воду не только согласованного объема, но и требуемого качества. Для этого на границе построена опреснительная установка, снижающая минерализацию воды до необходимого уровня.

*Тяжелые металлы и мышьяк* – серьезная проблема качества воды многих водных объектов мира. Из почти 100 химических элементов, обнаруженных в земной коре, в состав живого вещества входят, в заметной концентрации, только 22 наиболее легких, кверху от кальция в верхней части таблицы Менделеева. В промышленности используются также тяжелые элементы, чуждые организму и потому часто токсичные, такие как кадмий, свинец, ртуть, цинк, хром, медь и др. Вместе со сточными водами они попадают в источники водоснабжения.

Тяжелые металлы могут находиться в небольших (но весьма опасных) концентрациях в обработанных (но полностью не очищенных!) сточных водах или в более концентрированном виде на свалках опасных отходов. Многие коммунальные очистные сооружения также получают индустриальные стоки, содержащие тяжелые металлы. Горнодобывающая промышленность и цветная металлургия – это другой источник загрязнения воды того же рода, в особенности в развивающихся странах. Аллювиальные отложения также могут содержать значительное количество тяжелых металлов. Например, в донных отложениях рукава Невы, Екатериновки, накопился свинец в такой концентрации, что его в принципе экономически выгодно добывать.

Основная стратегия управления для тяжелых металлов заключается в управлении технологическими процессами. Развитые страны добились в этом отношении значительных успехов. В Голландии сбросы ртути, кадмия, хрома, свинца и цинка в поверхностные воды и в системы канализации были сокращены за 15 лет (1975–1990 гг.) в 6-12 раз. Более жесткие стандарты на сбросы соединений тяжелых металлов и других загрязнителей привели ко многим случаям незаконного транспорта опасных промышленных отходов из развитых в развивающиеся страны. В конечном итоге, это привело к заключению Базельской конвенции (1988 г.) по трансграничной перевозке опасных отходов.

В настоящее время в производстве и использовании находятся порядка 100 000 химических, преимущественно органических, веществ. Попадание в окружающую среду части этих веществ в малых концентрациях практически неизбежно. Ухудшение качества воды вследствие *органических микрозагрязнителей* связано со стоками таких секторов промышленности, как производство синтетических веществ и пестицидов, черная металлургия, нефтеперегонная, целлюлозно-бумажная и текстильная промышленность, добыча угля и др.

Концентрация органических загрязнителей в природных водах обычно ниже 1000 нанограмм на литр, или 1 часть на миллиард. Столь малая концентрация требует очень высокой, часто недостижимой точности измерений наличия и концентрации этих веществ в воде. Результаты измерений зачастую несравнимы и ненадежны. В то же время измерения этих поллютантов необходимы вследствие их крайне высокой токсичности. Один грамм полихлорированных бифенилов (ПХБ) (диоксин и др.) делает непригодным для жизни в воде объемом около 1 млн куб. м воды. Широко известный ДДТ принажлежит к тому же классу загрязнителей. Оба класса, ПХБ и ДДТ, относятся к хлорорганическим соединениям. Они отличаются долгой продолжительностью нахождения в окружающей среде, передаются по пищевым цепям, накапливаясь в отдельных их звеньях и, в частности, обладают способностью подавлять иммунные системы организма.

Глобальная картина географического распределения загрязнения воды органическими микрозагрязнителями пока не ясна. Можно сказать, что они почти вездесущи, с более высокой концентрацией в индустриальных районах и в сельских областях с неконтролируемым употреблением пестицидов.

Стремление некоторых стран к экономическому развитию любой ценой приводит к ухудшению состояния окружающей среды, в том числе к снижению качества воды. Мы уже указывали, что химические и физические свойства воды существуют в природе независимо от общества, тогда как стандарты качества воды устанавливаются правительствами с учетом социальноэкономических, технологических, естественных, культурных и других аспектов. Во многих странах стандарты качества воды основаны на рекомендациях международных организаций, например, на стандартах, разработанных ВОЗ.

Стандарты качества воды различаются в зависимости от целей использования воды: питьевой воды, воды для домашнего хозяйства, рыбного хозяйства, рекреации, орошения, промышленности и пр. Естественно, что требования к питьевой

воде и воде для рыбного хозяйства наивысшие, для рыбного хозяйства даже выше, потому что питьевая вода может быть обработана после ее забора из источника.

Стандарты качества воды – это важный инструмент управления состоянием окружающей среды. Предприятия могут платить штрафы, если сбросы воды не соответствуют стандартам, или налоги, пропорциональные степени вклада в загрязнение воды. Эти меры помогают в решении проблем качества воды в развитых странах. Однако по ряду разнообразных причин (недостаток необходимого оборудования для измерений, отсутствие или несоблюдение соответствующих законов и пр.) они не действенны в большинстве развивающихся стран и, по-видимому, стран с переходной экономикой.

Западные страны добились значительных успехов в управлении точечными источниками загрязнения, хотя и в этих странах есть большие возможности для улучшения качества воды. В быстро развивающихся странах, таких как Бразилия, Китай, Индия, Мексика, Индонезия, Таиланд, Малайзия и др., вследствие невысокой приоритетности проблем экологии качество природных вод ухудшается, а во многих случаях, когда следуют правилу «загрязняй сегодня, очищай завтра», оно попросту ужасающее. В этой категории стран лишь немногие имеют эффективную систему законов, правил и структур, обеспечивающих их выполнение. Приходится признать, что Россия принадлежит к этой последней категории.

Наряду с «обычным» загрязнением воды, увеличивается число случаев катастрофических ситуаций, когда вследствие технологической аварии в реку, озеро или подземные воды попадает значительный объем высоко токсичных вод, наносящих серьезный и долговременный ущерб. Такие катастрофы случаются и на реках России.

Штрафы, налоги и другие меры экономического характера мало успешны в случае управления рассеянным загрязнением. В таких случаях необходимо обратить внимание на улучшение технологии сельскохозяйственных работ, таких как вспашка, внесение минеральных и органических удобрений, методы орошения и т. д. Управление неканализованными стоками сельских поселений и малых городов также относится к этой категории.

Управление качеством воды на уровне речного (озерного) бассейна или гидрогеологической формации – чрезвычайно сложная задача системного характера, которая должна осуществляться как часть стратегии социального, экономического и экологического развития бассейна. Тогда в ней должно

оказаться место для управления как точечным, так и рассеянным загрязнением, равно как и для решения конкретных проблем качества воды, приведенных в табл. 11 и обсуждавшихся выше.

### *VI.2.5. Дефицит и деградация вод суши*

Как видим, вода – важнейший агент и фактор экосферы. Она присутствует практически во всех важнейших проблемах геоэкологии и часто играет в них определяющую роль. Вода – это и важнейший природный ресурс общемирового значения, отличающийся, однако, локальностью его использования. Водные проблемы неразрывно вплетены в контекст многих природных и общественных процессов.

В мире существует много областей с локальным дефицитом воды. К ним относятся также многие территории России, в особенности ее европейской части и Урала. Размеры вододефицитных территорий будут увеличиваться, а глубина дефицита усиливаться, что будет важнейшим фактором социально-экономической и политической неустойчивости как внутри стран, так и в отношениях между странами. Увеличение доступных водных ресурсов посредством гидротехнических проектов приносит не только ожидаемые выгоды, но и значительный, прежде всего, геоэкологический ущерб. По-видимому, ущерб от неопределенности последствий при значительных масштабах гидромелиоративных преобразований превышает ожидаемые выгоды, что ставит предел использования водных ресурсов значительно раньше их исчерпания.

Во многих местах мира и России отмечается быстрое ухудшение состояния водных объектов, вплоть до катастрофического. Вопросы качества воды столь же вплетены в единую ткань многих природных и общественных процессов, как и вопросы водных ресурсов. Многие локальные кризисы качества воды переходят в катастрофы, затрагивающие важные региональные вопросы, казалось бы напрямую не связанные с водными проблемами.

Нарастание дефицита водных ресурсов и прогрессирующее ухудшение их качества объединяются под общим понятием деградации природных вод. В России проблема сохранения чистой воды переросла в общегосударственную, учитывая масштабы количественного и качественного истощения природных вод; природные воды оказались в России наиболее подверженными деградации, так как они служат коллекторами загрязнений из всех других сред и в связи со спецификой

расположения основных загрязняющих промышленных и сельскохозяйственных комплексов в верховьях и среднем течении основных рек Федерации. Масштабы и темпы деградации природных вод России намного выше других природных сред и требуют решительных действий и специальных целевых программ.

Столь же тревожны сведения о деградации природных вод суши во многих других странах. Известно, что разрушение сложных систем происходит по слабому звену. Имеются серьезные основания предполагать, что воды суши и есть такое слабое звено в кризисе состояния экосферы.

## VI.3. Мировой океан. Влияние деятельности человека

### VI.3.1. Основные геоэкологические особенности океанов и морей

Главная особенность Мирового океана – его огромные, подавляющие размеры. Широко известно избитое, но тем не менее верное замечание о том, что наша планета должна бы называться не Земля, а Океан. В самом деле, Мировой океан занимает 361 млн кв. км, или 71 % всей поверхности планеты. Важнейшее глобальное следствие такого соотношения суши и моря – в его влиянии на водный и тепловой баланс Земли. Около 10 % солнечной радиации, поглощенной поверхностью океана, расходуется на нагревание воды и турбулентный обмен теплом между поверхностными слоями воды и нижними слоями атмосферы, остальные же 90 % затрачиваются на испарение. Таким образом, испарение с поверхности океана является как главным источником воды в глобальном гидрологическом цикле, так и, вследствие высокой скрытой теплоты испарения воды, важным фактором глобального теплового баланса.

Масса океана составляет 94 % массы гидросферы. Мировой океан – важнейший регулятор потоков в глобальном гидрологическом цикле: его объем велик по сравнению с любой составляющей цикла и средняя продолжительность обмена воды в океане весьма велика и составляет 3000 лет.

Поверхностная зона океана (глубиной 0-200 м) обладает весьма значительной теплоемкостью и наибольшей среди геосфер тепловой инерцией. Она играет важнейшую роль в формировании текущего климата планеты, его пространственного распределения и изменчивости во времени. Воздействие ветра на верхний слой воды определяет основные черты океанической циркуляции в поверхностной зоне. Циркуляция океана обеспечивает глобальное

перераспределение энергии из экваториальных зон к полюсам. Поверхностная зона океана – важнейший компонент климатической системы, принимающий активное участие в формировании среднего годового климата, его изменений от года к году, а также и его колебаний в масштабе десятилетий и столетий.

Внешние воздействия на океан осуществляются почти исключительно посредством воздействия на него атмосферы, благодаря потокам тепла, пресной воды и количества движения у поверхности океана. Таким образом, эволюция климата и эволюция океана взаимосвязаны.

Глубокие зоны океана в гораздо меньшей степени, чем поверхностные зоны, подчиняются закону географической зональности, а чаще и вовсе не подчиняются. Основные глубинные и придонные потоки воды формируются в полярных областях и направлены вначале к противоположным полюсам (рис. 15). Большее или меньшее их участие в природных процессах у поверхности океана и изменение степени этого участия – важнейший фактор изменения основных черт экосферы.

Глубинная (глубиной 2000–4000 м) и придонная (глубже 4000 м) зоны Мирового океана составляют 64 % всего его объема. Температура воды в этих зонах от 3 ˚С и менее. Средняя температура всей массы Мирового океана всего лишь около 4 ˚С благодаря холодным глубинной и придонной толще. Вертикальная циркуляция океанических вод под влиянием разности плотности воды вследствие различий в ее температуре и солености вызывает перемещение вод с поверхности в глубинные слои, где она может оказаться изолированной от атмосферных воздействий, сохраняя теплозапас в течение периодов времени порядка тысячелетий и более. Высвобождение или, наоборот, накопление такого теплозапаса может оказаться решающим в долговременных изменениях климата.

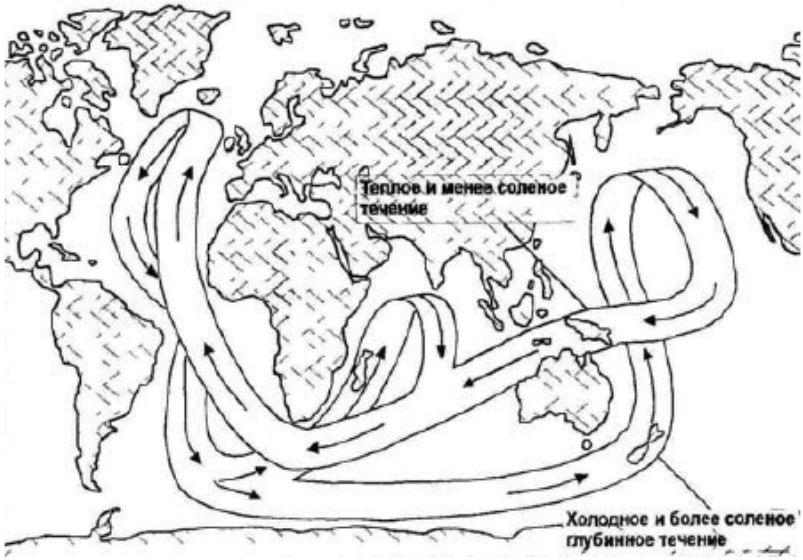


**Рис. 15. Основные глубинные течения Мирового океана**

Низкая температура Мирового океана и его огромная тепловая инерция играют важнейшую палеогеографическую роль. Глубинные слои – это не только долгосрочный теплорегулятор системы Земля. Усиление или ослабление теплообмена между глубинными слоями океана и его поверхностью играет, по-видимому, решающую роль в глубоких и долгосрочных преобразованиях климата Земли и, соответственно, в изменениях ее ландшафтов. При этом изменения теплообмена глубинных масс океана с поверхностными и распределение поверхностных течений могут изменяться в масштабе времени порядка десятков лет, то есть чрезвычайно быстро, принимая во внимание размеры Мирового океана (рис. 16).

Мировой океан – это также и огромный аккумулятор веществ, содержащий их в растворенном виде в количестве около $50*10^{15}$ т. (Напомним, что средняя концентрация растворенных веществ в морской воде, или ее соленость, – 35 г/л.) Соленость воды изменяется в пространстве, но ее химический состав (в %% от целого) остается постоянным. Ежегодный приток солей в океан примерно на семь порядков величины (в $10^7$ раз) меньше их содержания в океане. Это обстоятельство играет значительную роль в стабилизации биогеохимических циклов и экосферы в целом.

**Рис. 16. Изменения в расположении фронта холодных вод в Северной Атлантике**

Океан содержит около $4*10^{12}$ т углерода в растворе, в виде взвесей и в живых формах. На суше, в живых организмах, почвах и распадающемся органическом веществе, углерода примерно в 20 раз меньше. Физико-химические условия в океане и взаимодействие с ними морской биоты предопределяют реакцию океана на изменение концентрации углекислого газа в атмосфере. Углекислый газ из атмосферы растворяется в воде или поглощается из нее планктоном в процессе образования первичной продукции (фотосинтеза). Этот процесс нуждается в солнечном свете, углекислом газе в воде и растворенных биогенных веществах (соединениях азота, фосфора и других химических элементов). Лимитирующим фактором обычно бывают биогенные вещества.

Первичная продукция образуется в верхних, хорошо освещенных слоях воды, куда биогены поступают или из планктона, отмирающего на тех же глубинах, или же с суши и атмосферы. При отмирании планктона содержащие углерод остатки опускаются в холодные глубинные слои океана и на дно. Этот процесс, иногда называемый «биологический насос», на самом деле чрезвычайно сложен. Он интенсивно изучается в

настоящее время, но пока все же понят недостаточно. Биогеохимические процессы, связанные с поглощением углекислого газа, происходят преимущественно в поверхностной зоне океана, тогда как глубинная и придонная зоны играют важнейшую роль в долгосрочной аккумуляции углерода.

Биологический насос углерода – это процесс удаления углерода из поверхностного слоя океана в его глубины посредством как погружения остатков живых организмов, так и в виде растворенного органического вещества, переносимого течениями. В конце концов этот углерод на значительной глубине превращается бактериями в растворимую неорганическую форму, а малая его часть отлагается в виде донных осадков. Таким образом, биологический насос уменьшает концентрацию углекислого газа в верхнем слое океана, а также и в атмосфере, и увеличивает общее содержание углерода в глубинной и придонной зонах океана.

## VI.3.2. Деятельность человека, влияющая на состояние океанов и морей

Деятельность человека, вызывающая изменение глобального климата, должна влиять как на состояние океанического звена гидросферы, так и на его взаимосвязи с другими геосферами. Однако, благодаря очень большой консервативности Мирового океана, можно надеяться, что его антропогенные изменения останутся незначительными в течение всего периода перехода к состоянию устойчивого развития. Эта общая, в целом оптимистическая, оценка не исключает катастрофические антропогенные ситуации на отдельных акваториях или касающиеся специфических вопросов.

Хозяйственная деятельность человека в Мировом океане разнообразна. Основная часть громоздких грузов, включая нефть, перевозится морем. Мировой океан – источник рыбных и других биологических ресурсов. Это также и источник минерального сырья, пока еще мало используемый. Океан также поглощает и преобразует продукты деятельности человека. По мере роста антропогенного давления эта последняя функция становится все более важной.

Основную часть океана, удаленную от берегов, часто сравнивают с пустыней. И действительно, величина первичной продукции в открытом океане на порядок меньше, чем на многих прибрежных акваториях. На карте первичной биологической продукции[9] на глубине 100 м основная часть Мирового океана находится в пределах контуров от 15 до 60 г С $м^{-2}год^{-1}$, тогда как

пятна высокой первичной продукции выделены контурами от 200 до 500 г С $м^{-2}год^{-1}$.

Как правило, чем ближе к побережьям, тем больше антропогенная нагрузка. Внутренние моря и заливы отличаются большей антропогенной нагрузкой по сравнению с открытым океаном, причем чем больше степень закрытости водоема, то есть чем меньше водообмен с океаном, тем, при прочих равных условиях, выше нагрузка. Наконец, прибрежные зоны отличаются наивысшим антропогенным давлением вследствие активного рыболовства с переработкой улова, крупных и мелких портовых сооружений, повышенной плотности судоходства, транспортных связей с внутриконтинентальными районами, развитой промышленностью и энергетикой зачастую на привозном сырье и, наконец, многочисленного и быстро растущего населения.

Приоритеты в решении различных морских геоэкологических вопросов определяются, как правило, в зависимости от степени антропогенного давления. Поэтому сложность проблем и интенсивность геоэкологических процессов в целом увеличиваются по направлению от открытого океана (моря) к побережьям.

Рассмотрим основные виды деятельности человека, влияющие на состояние морей.

*Деятельность в бассейнах рек, приводящая к изменениям гидрологического режима морей.* Деятельность человека в бассейнах рек (расширение площади пашни, строительство и эксплуатация оросительных систем, вырубка лесов, применение удобрений и пестицидов, разнообразное строительство и др.) влияет на гидрологический режим рек, а через него и на режим морей, в особенности замкнутых.

В начале этого века, вследствие, главным образом, расширения земледелия, антропогенная доля потока наносов с суши в море была больше естественной, в глобальном или континентальном масштабе. В настоящее время плотины на реках и ирригационные системы, построенные преимущественно во второй половине этого столетия, перехватывают и значительно снижают сток наносов и биогенных веществ, в особенности соединений фосфора.

Антропогенный поток растворенных в воде биогенов с суши в прибрежные зоны морей равен, а иногда и намного больше естественного потока. Это одно из проявлений интенсификации глобального биогеохимического цикла биогенных элементов.

Речной сток в моря также в целом несколько ниже вследствие увеличившихся затрат воды на испарение, главным образом, из-за развивающегося орошения. Снижение стока рек приводит к росту

солености морских вод в замкнутых морях и заливах, таких как Черное и Азовское моря или залив Сан-Франциско.

*Использование земель в береговой полосе.* Чем ближе к средней границе раздела между водой океана и сушей, тем обычно больше плотность использования земли и, соответственно, выше деградация земель береговой полосы. В этой полосе острее всего также и конкуренция в использовании земли между жилыми кварталами, портовыми и промышленными сооружениями. Главная область загрязнения – порты, куда загрязненная вода попадает с судов, стекает с городских территорий, как жилых, так и промышленных, поступает вместе с наносами рек. Зачастую акватории портов хуже промываются течениями, где и создается устойчивая зона загрязнения.

Рекреация – серьезнейший конкурент в использовании земель береговой полосы. Морские побережья – основное место отдыха, привлекающее около половины всех рекреантов мира, и к 2025 г. прогнозируется их увеличение вдвое. Только побережья Средиземного моря ежегодно посещают свыше 110 млн туристов. Приток масс отдыхающих в береговую полосу неизбежно вызывает ее загрязнение и деградацию, если только не принимаются специальные меры. Для удовлетворительного решения проблемы использования береговой полосы необходим интегрированный подход к планированию ее развития, учитывающий все основные аспекты проблемы.

*Сброс в море загрязненных вод побережья.* Как и в случае вод суши, существуют два основных механизма загрязнения вод – точечное и рассеянное. Основные загрязнители: патогенные микроорганизмы, органические вещества, соединения биогенных элементов, синтетические органические вещества, тяжелые металлы, нефтепродукты, загрязненные взвешенные наносы рек. Иногда заметную роль играет и тепловое загрязнение воды. Основные последствия загрязнения – инфекционные болезни, эвтрофикация прибрежных вод и дефицит кислорода, токсическое воздействие различных химических веществ на людей и природу.

*Сброс в море загрязненных наносов.* Порты, в особенности расположенные в устьях рек, нуждаются в проведении постоянных землечерпательных работ с перемещением большого количества наносов. Чистые наносы хотя и вызывают необходимость землечерпания, особого экологического вреда не приносят. Однако часть землечерпательного материала (по некоторым оценкам, около 10 %) бывает загрязнена тяжелыми металлами, нефтепродуктами, биогенными и хлорорганическими соединениями. Проток дельты Невы, Екатериновка, содержит около 40 кг свинца на тонну накопленного на дне песка и ила. На

морском крае одного из основных рукавов дельты Рейна, проходящего сквозь крупнейший в мире порт г. Роттердама (Нидерланды), намыт искусственный остров из загрязненных наносов. Остров непригоден для обитания, но может быть использован для производственных целей, например, складов.

Загрязненными наносами можно в определенной степени управлять: сбрасывать на край шельфа, с тем чтобы они затем перемещались благодаря силам гравитации в более глубокую зону материкового склона; покрывать загрязненный материал чистым; аккумулировать наносы в специальных зонах ограниченного доступа и др.

Специальной проблемой является *сброс промышленных отходов и продуктов отстоя очистных сооружений.* Эти вещества могут быть чрезвычайно токсичными. Такие сбросы в море без обработки нельзя квалифицировать иначе, чем варварство.

Особая проблема – *распространение пластикового мусора* на поверхности морей и в полосе прилива и прибоя. Даже в открытом океане его встречается много. Это брошенные и потерянные сети, поплавки, упаковка товаров, бутылки и пр. Такой мусор практически не разлагается и остается на поверхности воды или на пляжах очень долгое время. Некоторые морские животные и птицы заглатывают пластиковый мусор, что приводит к неблагоприятным последствиям и даже их гибели.

*Перевозка опасных веществ* – важный фактор загрязнения морей. В особенности это относится к *перевозке нефти и нефтепродуктов*. Судоходство обеспечивает примерно половину антропогенного поступления нефти в Мировой океан. Карты загрязнения океана нефтью и основных морских линий во многом совпадают. Сбросы загрязненных веществ с судов полностью запрещены в закрытых морях, таких как Средиземное, Черное, Балтийское, Красное, Персидский залив, Аденский залив и др. Во многих местах запрещена промывка танкеров. Требования к еще более жесткому контролю сбросов с судов постоянно усиливаются.

Очень крупные экологические катастрофы связаны с выливанием нефти из танкеров в результате кораблекрушений. Вероятно, крупнейшей катастрофой такого типа был сброс в океан у берегов Франции 220 тыс. т нефти из трюмов затонувшего танкера «Амоко Кадис» (1978 г.). В 1989 г. танкер «Эксон Вальдес» сбился с курса и получил пробоину в заливе Принс Уилли-ам на Аляске. Вылилось около 39 тыс. т нефти, что привело к загрязнению 550 км побережья в условиях, где самоочищение происходит чрезвычайно медленно вследствие низкой температуры воды.

Аварии несколько меньших масштабов, но, тем не менее, катастрофические, происходят ежегодно и неоднократно. Российский танкер «Находка», следовавший в Японском море, во время шторма 2 января 1997 г. раскололся и затонул. В море вылилось 5 тыс. т мазута, что привело к загрязнению большой части побережья главного острова Японии Хонсю. Был нанесен весьма значительный ущерб добыче рыбы и морепродуктов, загрязнены пляжи одной из важнейших зон прибрежного отдыха Японии. Десятки тысяч добровольцев в течение недель убирали побережье, буквально вычерпывая ведрами загрязненное море и протирая тряпками каждую гальку на пляжах.

В 1985 г. судно «Ариадна» село на камни у входа в порт Могадишо (Сомали). Судно специализировалось на превозке опасных токсических отходов, и в момент аварии у него на борту было 105 различных химических веществ. Вследстие крайней опасности для состояния моря, экспертами ЮНЕП был разработан план постепенной разгрузки судна, которая затем продолжалась 8 месяцев.

Для *борьбы с загрязнением моря* или его части необходимо действовать на основе долгосрочной комплексной программы действий. Основная концепция стратегии контроля загрязнения заключается в том, чтобы сбросы не превышали естественную поглотительную способность защищаемой части моря. Устанавливаются желаемые цели состояния морской (и береговой) среды и, соответственно, допустимые уровни сбросов. Простейший и уже не эффективный способ управления качеством морской воды – сброс загрязнений в море в надежде на его самоочищаю-щую способность. Иногда строятся глубоководные сбросы, отнесенные весьма далеко от берега. Однако, как и в случае с водами суши и атмосферным воздухом, разбавление – неэффективное средство борьбы с загрязнением прибрежных зон морей.

Для точечных источников основной путь – перестройка технологии производства таким образом, чтобы сократить объем и суммарную токсичность сбросов. Проблема может решаться и менее эффективным способом, посредством очистных сооружений, устанавливаемых в заключение технологического процесса, то есть «на конце трубы».

Управление рассеянным загрязнением значительно сложнее. Оно требует понимания путей распространения поллютантов и соответствующего управления территориями и акваториями прибрежной зоны.

Значительными загрязнителями морей выступают реки, что расширяет поле деятельности по регулированию состояния морей

целиком на речные бассейны.

Приблизительная, с округлением до 10 %, оценка доли вклада основных источников загрязнения Мирового океана и его компонентов следующая: сток загрязнений с суши (как по рекам, так и в виде рассеянного стока) – 40 %, выпадения из атмосферы – менее 40 % и источники на море (судоходство, добыча нефти и др.) – более 20 %. В соответствии с источниками загрязнения должна разрабатываться и стратегия управления им, его контроля, включая конкретную стратегию по каждому точечному источнику. Терригенное происхождение основной массы загрязнений указывает на приоритетность действий на суше, так же как и на необходимость интегрированного подхода к управлению прибрежными зонами.

Принципиальное отличие морского загрязнения от речного в том, что первое из двух может перемещаться в различных направлениях в пределах моря. Это объективно побуждает страны, расположенные у одного и того же моря, к международному сотрудничеству для сохранения и улучшения состояния моря. Типичная философия незаинтересованности в последствиях своей деятельности у стран, расположенных выше по течению реки, в применении к морской ситуации не действует.

В настоящее время существуют международные соглашения по отдельным морям, регулирующие совместные действия по борьбе с загрязнением, предотвращению и ликвидации экологических катастроф, по организации совместных наблюдений за качеством воды, по охраняемым акваториям и территориям и другим разнообразным вопросам, требующим совместных согласованных действий. К ним, в частности, относятся соглашения по Балтийскому, Средиземному, Северному, Карибскому, Черному и другим морям и морским акваториям.

Помимо региональных, существуют и другие международные соглашения, регулирующие различные геоэкологические проблемы морей и океанов. Соглашение по морскому праву (Law of the Sea) рассматривает многие вопросы. В том числе для прибрежных стран устанавливается Исключительная экономическая зона (Exclusive Economic Zone, EEZ) шириной 200 миль от берега, в которой за страной – хозяйкой побережья остается право на исключительное использование и контроль морских ресурсов. Имеется также Лондонская конвенция по предотвращению загрязнения моря с судов и конкретные протоколы к ней. Существует ряд конвенций по охране морских млекопитающих и многие другие международные соглашения, касающиеся управления состоянием морей и океанов.

*Использование небиологических* морских *ресурсов.* Запасы нефти на дне морей составляют около половины ее запасов на земном шаре. К началу 1990-х гг. площадь, перспективная на нефть и газ на континентальном шельфе, в пределах и вблизи прибрежной зоны была равна 13 млн км$^3$, а число обнаруженных там месторождений превышало 700. Уже к 1985 г. на шельфе мира было пробурено свыше 200 тыс. поисково-разведочных скважин. Нефть добывают ныне на всех континентальных шельфах мира. Ожидается, что доля мировой добычи на шельфе возрастет за 1990 гг. от 8 до 40 %. Загрязнение воды при этом практически неизбежно. Вопрос в том, насколько оно локально, то есть как оно влияет на состояние морей. В Северном море платформы, с которых происходит бурение и добыча нефти и газа, вместе с окружающей акваторией радиусом 3 км занимают 0,1 % площади моря.

Другая проблема – удаление нефтяных платформ с отработанных участков таких акваторий, как Северное море или Мексиканский залив. Они исчисляются сотнями и препятствуют судоходству и рыболовству.

Во многих местах на мелководьях производится добыча песка и гравия для строительства. Добывают также металл из морских россыпей и железо-марганцевые конкреции. Эта деятельность отрицательно влияет на состояние дна, в том числе на бентос, увеличивает мутность воды и препятствует рыболовству.

Особый вопрос – *использование энергии океана.* Запасы энергии в нем огромны, но ее концентрация невелика, и потому пока не удается разработать эффективные технологии извлечения энергии. Проводились крупные эксперименты по использованию энергии приливов (Франция, СССР). Имеются проекты использования энергии волн, морских течений, разности температур поверхностной и глубинной воды, но, по-видимому, они не вышли за пределы скромных экспериментов и проработок на бумаге.

*Использование морских биологических ресурсов.* Рыба – один из основных источников питания человека, на ее долю приходится 20 % потребляемых белков. В некоторых странах потребление рыбы весьма значительно: в Японии – 69 кг/чел. в год, в Южной Корее – 51 кг, на Филиппинах – 34 кг. В течение последних десятилетий мировые уловы рыбы заметно выросли, от 22 млн т в 1950 г. до максимума в 1989 г., равного 100 млн т. Рост уловов в мире привел к увеличению потребления рыбы на душу среднестатистического жителя Земли от 9 кг в 1950 г. до 19 кг в 1989 г. При этом рост уловов был неуклонным, за исключением нескольких лет в конце 1960-х и начале 1970-х гг., когда

чрезмерный лов сардины у берегов Перу подорвал запасы этого стада настолько, что последствия сказались на величине общемирового улова, а стадо не восстановилось до сих пор.

Похожие ситуации складываются и с другими видами рыб и на других акваториях. Максимально возможный устойчивый улов какого-либо вида зависит от двух основных факторов: численности стада и ежегодного прироста молоди. Необходимо, чтобы значительное число особей в стаде могло созреть и дать потомство, прежде чем эти, уже взрослые рыбы будут выловлены.

В Северном море ежегодно вылавливается 60 % стада трески различного возраста. Треска способна к размножению, начиная с возраста четырех лет, и может жить в течение многих лет. Однако в Северном море только 4 % особей трески в возрасте одного года доживают до четырех лет. Уловы трески росли в 1960-е гг. и достигли максимума в 300 тыс. т в 1972 г. По-видимому, максимально возможный устойчивый улов был около 200 тыс. т. Этот уровень уловов удерживался до 1980 г., а затем начал снижаться, составляя в настоящее время менее 100 тыс. т. Очевидно, что даже незначительное превышение фактического улова над максимально возможным устойчивым уловом приводит к катастрофическому ухудшению состояния рыбного стада. Поэтому уловы во всех подобных случаях должны быть сокращены до уровня заметно меньшего, чем максимально возможный устойчивый улов, чтобы избежать непоправимой ошибки.

В 1990–1993 гг. мировой улов был меньше, чем 100 млн. т. Расчеты ихтиологов еще за 10–15 лет до пика улова показывали, что годовой прирост рыбной биомассы составляет около 100 млн т. Это максимально возможная величина прироста возобновимых ресурсов рыбы за год, то есть это предел устойчивого рыболовства, превышение которого приведет к катастрофическим последствиям. Во всех 17 главных районах морского рыболовства (или, что то же, в крупных морских экосистемах) вылавливается все, что возможно, или менее прежних возможностей. В девяти районах уловы снижаются.

Похоже, что общемировые уловы рыбы достигли своего пика. Хуже, если они превзошли уровень устойчивого годового прироста, потому что в этом случае можно ожидать снижения рыбных ресурсов и дальнейшего падения уловов. Прогнозы указывают на то, что к 2030 г. среднее статистическое потребление рыбы упадет до 11 кг/чел, то есть почти вернется к уровню 1950 г.

Достижение предельного уровня мировых уловов сопровождается резким сокращением запасов ценных

промысловых видов на различных акваториях мира, например, лосося на Дальнем Востоке и западном побережье США и Канады, осетровых в Каспийском море, сельди, камбалы, трески, палтуса в Северной Атлантике, сардины в зоне апвеллинга у берегов Перу и др. Деградировавшее стадо уже не восстанавливается до первоначальной численности и продуктивности.

Развивается также разведение рыбы в садках (aquaculture). В 1991 г. оно давало 12,7 млн т. Однако не обходится без проблем: рыбные особи в садках подвержены эпидемиям, выращивание рыбы требует значительных расходов зерна на ее питание, а конкуренция с другими пользователями земли за место у побережья, где можно заниматься разведением рыбы, весьма остра. Поэтому перспективы искусственного рыборазведения вряд ли можно расценивать высоко, и в любом случае они не могут рассматриваться как альтернатива естественному процессу.

По всей видимости, достижение предельно возможного сбора рыбных ресурсов за год – это еще один сигнал, говорящий о достижении пределов экосферы, о тревожном состоянии одного из возобновимых природных ресурсов и одного из важнейших источников продовольствия для растущего населения мира, то есть об еще одном проявлении нарастающего глобального геоэкологического кризиса.

### VI.3.3. Геоэкологические проблемы морских побережий и внутренних морей

*Морские побережья* – это та часть поверхности Земли, где взаимодействуют суша, океан и атмосфера в условиях значительного и все увеличивающегося антропогенного давления. Это не только относительно неширокая зона непосредственного взаимодействия трех геосфер, но и более широкая полоса, в пределах которой функционируют специфические прибрежные природно-хозяйственные системы. Под морскими побережьями обычно понимается пространство, условно ограниченное изогипсой 200 м над уровнем моря и изобатой 200 м ниже уровня моря. Прибрежные природно-хозяйственные системы – очень важный компонент экосферы, влияющий как на мировое хозяйство, так и на глобальные природные процессы.

Зона побережья морей, заключенная между изогипсами – 200 м и +200 м, отличается следующими основными чертами, ясно указывающими на ее весьма важную роль в экосфере:

– в ней проживает около 60 % населения мира;

– она занимает 18 % поверхности Земли;

– в ней расположены две трети городов мира с населением

более 1,6 млрд чел.;

– в ней формируется около четверти первичной биологической продукции мира;

– она дает около 90 % мирового улова рыбы.

Прибрежная зона занимает всего лишь 8 % площади Мирового океана и составляет менее 0,5 % его объема. Однако в ней формируется 18–33 % биологической продукции океана. Прибрежная зона поглощает 75–90 % стока наносов рек вместе с загрязняющими их веществами. В ней аккумулируется 90 % современных рыхлых отложений мира. В ней накапливается также 80 % того органического вещества, которое удаляется из активной части глобального цикла углерода. Эти данные указывают на важнейшую общемировую роль прибрежной зоны.

В разделе, посвященном изменению климата и его последствиям, уже обсуждались вопросы влияния изменения климата и роста уровня океана на прибрежные системы. Ширина прибрежной полосы, на которую будет влиять рост уровня моря, складывается из:

– зоны прямого затопления вследствие повышения среднего многолетнего уровня моря;

– величины отступания береговой линии вследствие разрушения берега;

– зоны затопления при нагонах и штормах.

Изменение климата означает изменение не только его средних, но и крайних, то есть катастрофических, показателей, включая такие, как рост повторяемости и интенсивности штормов и штормовых нагонов воды. Ожидается, что уровень Мирового океана к 2100 г. поднимется на 20–86 см, а в среднем на 50 см, с соответствующим неблагоприятным воздействием на прибрежные системы. На песчаных пляжах с установившимся профилем равновесия изменение уровня океана на 1 см означает изменение расположения кромки воды приблизительно на 1–1,5 м. Рост уровня на 0,5 м будет означать перемещение кромки воды не менее чем на 50 м. Уже сейчас, вследствие подъема воды в течение текущего столетия, 70 % песчаных берегов мира находятся в состоянии разрушения.

Антропогенные преобразования природно-хозяйственных систем морских побережий относятся к наиболее интенсивным в мире. Численность населения этих территорий и его плотность не только уже высока, но и продолжает увеличиваться. При этом прирост населения в прибрежных зонах больше, чем прирост на внутриконтинентальных территориях вследствие преимущественной миграции людей к побережьям.

Чем ближе к средней границе раздела между водой океана и

сушей, тем обычно больше плотность использования земли и, соответственно, выше деградация земель береговой полосы. Конфликтная ситуация на побережьях возникает также вследствие развития *туризма,* требующего чистой воды и чистого побережья значительной ширины и протяженности.

Мы уже обсуждали в предшествующем разделе вопросы загрязнения вод прибрежной зоны. Около 90 % загрязнений, поступающих с суши, включая бытовые сточные воды, биогены и токсичные вещества, остаются в прибрежных водах. Большая часть плодородных сельскохозяйственных земель располагается в прибрежной зоне, вызывая интенсивное их использование с сопутствующими экологическими проблемами, такими как увеличение стока соединений биогенов и пестицидов.

Следует напомнить, что за последнее столетие антропогенные преобразования прибрежных систем протекают в условиях медленного, но неуклонного роста уровня океана, что дополнительно вызывает значительные хозяйственные проблемы.

Прибрежные экосистемы относятся к богатейшим в мире с точки зрения биологического разнообразия. Они находятся под угрозой существенного нарушения и даже разрушения примерно на половине берегов мира. Оценка риска деградации морских побережий была выполнена в Институте мировых ресурсов в

Вашингтоне. Для анализа были выбраны пять индикаторов: города с населением более 100 тыс. чел.; крупные порты; плотность населения прибрежной зоны; плотность дорог; плотность нефтяных и газовых трубопроводов. Индикаторы были затем объединены в индексы. Результаты оценки представлены в табл. 12.

*Таблица 12*

**Протяженность берегов мира (в %), находящихся под угрозой риска неблагоприятных последствий антропогенной деятельности**

| Регион | Малый риск | Умеренный риск | Высокий риск |
|---|---|---|---|
| Африка | 49 | 14 | 38 |
| Азия | 31 | 17 | 52 |
| С. и Ц. Америка | 71 | 12 | 17 |
| Ю. Америка | 50 | 24 | 26 |
| Европа | 14 | 16 | 70 |
| Бывший СССР | 64 | 24 | 12 |
| Океания | 56 | 20 | 24 |
| ***Мир в целом*** | ***49*** | ***17*** | ***34*** |

В настоящее время основными действующими силами в эволюции прибрежных систем в масштабе от лет до десятилетий

являются антропогенные факторы, тогда как более долгосрочные изменения (в масштабе от десятилетий до столетий) вызваны природными факторами, хотя, возможно, и спровоцированными действиями человека (изменения климата и уровня моря).

При анализе очень сложных систем широкое применение получают методы интегрированной оценки, объединяющие знания широкого круга дисциплин с целью глубокой оценки ситуации и разработки соответствующей стратегии. Например, анализ сверхсложной проблемы изменения климата с выработкой рекомендаций по необходимым действиям осуществлялся на основе метода интегрированной оценки. Очень большая сложность структуры прибрежных систем, их взаимосвязей с внешним окружением и значительная степень неопределенности их эволюции также требуют применения методов интегрированной оценки, чтобы на их основе разрабатывать и осуществлять стратегию интегрированного управления устойчивым развитием этих областей. Этот подход применяется также и для интегрированной оценки внутренних морей.

Режим *внутренних морей* отличается замедленным водообменом с Мировым океаном, а для морей-озер (Каспийского и Аральского) и его полным отсутствием. Особенности внутренних морей зависят от процессов, протекающих на обширных пространствах бассейнов этих водоемов. Значительный приток речных вод во внутренние моря в сочетании с ослабленным водообменом с Мировым океаном вследствие особенностей их морфологии обусловливают пониженную соленость вод внутренних морей, в 2–3 раза меньшую, чем океаническая. Вынос загрязнений с водосборов со стоком рек оказывает серьезнейшее влияние на геоэкологическое состояние внутренних морей. Они испытывают возрастающую антропогенную нагрузку на всю акваторию, в особенности на побережья.

Наличие внутренних морей – отличительная особенность России. Они неразрывно связаны с ее внутриконтинентальными территориями, и их режим в значительной степени есть следствие природных и, во все усиливающейся степени, антропогенных процессов на территориях речных бассейнов. К ним относятся моря европейской части страны, испытывающие наибольшую антропогенную нагрузку, – Балтийское, Черное, Азовское, крупнейшее озеро мира – Каспийское море, а также Белое море.

Россия не располагает морскими побережьями значительной протяженности в густонаселенных районах страны, где все побережья относятся к внутренним морям. Это часть побережья Финского залива и Балтики, и часть Черноморского, Азовского и

Каспийского побережий. Ценность их невероятно высока для страны в целом. Тем более необходима разработка стратегии их развития с учетом долгосрочных интересов России. Общероссийской задачей должно стать также интегрированное развитие Тихоокеанских побережий России, в особенности Японского моря. Необходима также разработка стратегии устойчивого использования обширнейшей прибрежной зоны морей Северного Ледовитого океана.

В особенности следует иметь в виду влияние ожидаемого подъема уровня Мирового океана. Для этого события имеются три стратегии хозяйственного поведения (П.А. Каплин).

1. Отступление с побережья, если затраты на защитные сооружения превышают стоимость защищаемого имущества.

2. Защита побережья, а для северных и восточных малонаселенных побережий – защита отдельных городов, в том случае, когда стоимость национального богатства превышает затраты на защиту.

3. Защита уникальных объектов независимо от стоимости затрат на защиту (Санкт-Петербург и др.).

Анализ ожидаемых ситуаций привел к следующим сценариям действий.

а) Балтийское побережье России необходимо защищать,

б) В Приморском крае, Сахалинской, Камчатской, Мурманской и Архангельской областях необходимо защищать города и другие крупные населенные пункты.

в) На малонаселенных побережьях Карелии, Ненецкого, Ямало-Ненецкого и Таймырского автономных округов, а также Якутии, Чукотского и Корякского АО целесообразна стратегия «переноса социально-экономического потенциала» с побережья вглубь суши.

*Балтийское море.*

Это крупнейший водоем мира с солоноватой водой. Его площадь 370 тыс. км$^2$ и объем 21 тыс. км$^3$. Площадь бассейна Балтики – 1,7 млн км$^2$. Общий речной сток в море составляет около 450 км$^3$.

С запада, через Датские проливы, в Балтику поступает высоко соленая и богатая кислородом вода из Атлантики. Это происходит нерегулярно, в результате сильных западных ветров. За текущее столетие было около 90 вторжений соленой воды, но с 1983 до 1992 гг. не было ни одного. В январе 1993 г. в море поступило 300 км$^3$ воды, половина которой была насыщена кислородом и весьма соленой. Такие вторжения способствуют улучшению состояния моря, в особенности водных масс, занимающих глубоководные впадины. Впадины имеют глубины

до 249–259 м и разделены порогами глубиной всего лишь 18–25 м.

Сложный рельеф дна и причудливый контур береговой линии предопределяют разнообразие гидрологических и гидрохимических условий моря от почти пресноводных Ботнического и Финского заливов до высокосоленых проливов в западной части Балтики и от приемлемого состояния воды в центральной части моря у его поверхности до временами заморного состояния (то есть состояния отсутствия кислорода) в некоторых глубоководных впадинах.

В бассейне моря проживает около 120 млн чел., преимущественно в южной и юго-восточной частях бассейна, из них 80 млн чел. живут в прибрежной зоне. Вследствие экономической деятельности как на побережье, так и в бассейне увеличивается загрязнение воды моря. Непосредственными причинами являются сбросы бытовых стоков, промышленных стоков и рассеянного сельскохозяйственного загрязнения. Это приводит к эвтрофикации моря, снижению концентрации кислорода в воде, накоплению токсических веществ в пищевых цепях, снижению рыбных ресурсов и численности водоплавающей птицы и морских животных.

Состояние Балтики есть отражение сложной комбинации факторов, как природных, так и антропогенных.

Единственно правильная стратегия регулирования состояния Балтийского моря заключается в развитии сотрудничества между всеми странами бассейна моря. Первое соглашение о сотрудничестве было принято в 1974 г. в Хельсинки. Была создана Комиссия по защите морской среды Балтийского моря, разрабатывающая и координирующая осуществление совместных программ. Центральной задачей текущей экологической программы является сокращение нагрузки от точечных источников загрязнения. На 1996 г. идентифицированы 132 «горячих точки» особенно значительных источников загрязнения в пределах бассейна, и ведется работа по контролю сбросов из них. Есть основания полагать, что состояние моря может быть сохранено и даже улучшено, но это требует дальнейших согласованных усилий всех стран бассейна.

*Черное море.*

Площадь Черного моря 420 тыс. км$^2$, его средняя глубина 1300 м, а наибольшая – 2212 м. Соответственно, объем воды моря составляет 547 тыс. км$^3$. Средняя величина речного стока в Черное море – 346 км$^3$ в год, из них Дунай дает 200 км$^3$. Черное море занимает глубокую тектоническую впадину с континентальным шельфом, развитым лишь в северо-западной

части моря. Через пролив Босфор происходит обмен вод: более пресная черноморская вода уходит по поверхности в Мраморное и далее в Средиземное море, а у дна пролива в Черное море втекает более соленая и, следовательно, более плотная вода Мраморного моря. Босфор играет роль порога, вызывающего разделение вод Черного моря по вертикали.

Поверхностные воды Черного моря отделены от основной толщи слоем с повышенным градиентом плотности. Вследствие этого воды глубоководной части моря практически лишены возможности обмена с верхними слоями. На большие глубины не поступает кислород, а тот, что был, полностью израсходован на окисление органического вещества. Под действием силы тяжести на дно осаждается органическое вещество, продуцируемое в верхнем аэробном слое. В бескислородной среде под действием бактерий происходит разложение органики с образованием сероводорода. В результате около 90 % массы моря занимает зона без кислорода, а из жизненных форм в ней развиты анаэробные бактерии. Средняя глубина верхней границы сероводородной зоны составляет 120–130 м с колебаниями от 60 до 210 м. Это важнейшая геоэкологическая граница Черного моря.

В научной и популярной печати появлялись предположения о возможности выхода значительых масс сероводорода на поверхность моря и в атмосферу. Такое событие действительно грозило бы серьезными экологическим неприятностям и даже катастрофой. Однако исследования показали, что со стороны основной сероводородной зоны опасность Черному морю не грозит. Природные процессы в нем находятся в определенном динамическом равновесии. Препятствием для подъема верхней границы сероводородной зоны является слой повышенного градиента плотности. Для его разрушения необходимо, чтобы соленость поверхностного слоя моря возросла на 2–3 %, что в настоящее время маловероятно.

Воды Дуная – важнейший источник эвтрофирования и загрязнения Черного моря. Огромное количество и широкий спектр промышленных, сельскохозяйственных и бытовых загрязняющих веществ, в том числе биогенов, органики, нефтепродуктов, солей тяжелых металлов, пестицидов и других загрязняющих веществ, приходящих со стоком или абсорбируемых на взвешенных наносах, осаждается в устье Дуная и на всем шельфе. Там же весьма высоко и бактериальное загрязнение.

Вследствие превышения скорости потребления кислорода над скоростью его поступления в водную толщу на шельфе северо-западной части моря возникают анаэробные очаги

сероводородного заражения на глубинах от 8-10 до 35–38 м. Они не связаны с основной сероводородной зоной открытой части моря. Во время сгонных ветров зараженные сероводородом воды направляются к берегу и, достигнув участков с глубинами менее 3 м, выходят на поверхность, что ведет к массовой гибели рыбы. Именно загрязнение вод Черного моря, а не их сероводородное заражение представляет наибольшую опасность для геоэкологического состояния моря.

*Азовское море.*

Это мелководное море со средней глубиной 8 м и наибольшей 14 м. Площадь моря 38 тыс. км$^2$. Его объем, равный 300 км$^3$, соответствует речному стоку в море всего лишь за 8 лет. Этот показатель столь быстрого водообмена указывает на чрезвычайно значительную роль водосбора в геоэкологическом состоянии моря. При малой антропогенной нагрузке это было море с наивысшей биологической продуктивностью вследствие значительного выноса биогенов с водосбора, и поэтому интенсивного синтеза в море первичного органического вещества. Однако к 1990 гг. в бассейне Азовского моря производилось 17 % промышленной и 22 % сельскохозяйственной продукции бывшего СССР, с соответствующим влиянием на водоем. Были сооружены водохранилища на основных реках, Дону и Кубани. Антропогенная нагрузка на море оказалось весьма высокой, что привело к его значительной трансформации.

В недавнем прошлом Азовское море по уловам рыбы на единицу площади занимало первое место в мире среди морских водоемов. Его высокая рыбопродуктивность определялась масштабами воспроизводства рыбных запасов, обилием нерестилищ (на 10 км$^2$ акватории было 1,3 км$^2$ нерестилищ), низкой соленостью (10,5‰), большим притоком чистой пресной воды (41–59 км$^2$ в год), высокой трофностью мелководий.

По мере развития экономической деятельности в бассейне моря увеличились безвозвратные заборы воды, премущественно на орошение. В Азовское море стало поступать большее количество черноморской воды. Это привело к увеличению солености, что для Азова вызывает особенно быстрые и глубокие деформации биотических и абиотических компонентов экосистемы моря.

В море с речным стоком начали приходить в больших количествах соли тяжелых металлов, остатки пестицидов, органические вещества, нефтепродукты и др. С другой стороны, приток биогенов сократился вследстие перехвата этих элементов, особенно фосфора, водохранилищами. Экологическая система моря оказалась в условиях сильнейшего антропогенного стресса.

Биологическая продуктивность сократилась почти в два раза. Улов рыбы в 1976–1984 гг. был в 2–3 раза меньше, чем в 1936 г. Добыча проходных рыб сократилась за то же время в 5-15 раз, в том числе осетровых в 4–9 раз.

В целом экосистема Азовского моря деградирует вследствие продолжающегося усиления антропогенной нагрузки. Время стабилизации системы и ее будущие особенности – ключевые и пока не решенные вопросы.

# VII. Геоэкологические проблемы использования почвенных и земельных ресурсов

## VII.1. Основные функции сферы почв (педосферы) [10]

Совокупность почв мира часто выделяют в особую часть экосферы, называемую педосферой. По определению В. А. Ковды, педосфера – это общемировая биоэнергетическая и биогеохимическая система, способная к саморазвитию и саморегуляции, обеспечивающая существование и воспроизводство живых организмов. Именно эти черты педосферы обусловливают плодородие естественых и антропогенных (сельскохозяйственных, лесохозяйственных) экосистем.

Строго говоря, почвы не образуют сплошную геосферу, поскольку встречаются только на суше. На суше их роль велика, потому что многие естественные глобальные механизмы, регулирующие состояние экосферы, так или иначе, прямо или косвенно, действуют в почвенном покрове. Не менее сильна зависимость состояния почвенного покрова от антропогенных событий и процессов.

Почва – многокомпонентное, но целостное природное образование. Она образуется на земной поверхности там, где проникают друг в друга и взаимодействуют все четыре геосферы (литосфера, гидросфера, атмосфера и биосфера), составляющие экосферу.

Почва – это особое образование, на грани живого и неживого, названное В. И. Вернадским биокосным телом, с переплетающимися, сложнейшими биологическими, химическими и физическими процессами. Эти процессы зависят от природных условий каждого места, то есть они подчиняются определенным географическим законам, что и привело к формированию генетически обусловленных, зональных типов почв, классификация которых была предложена более 100 лет тому назад В.В. Докучаевым. Можно сказать, что почвы несут отпечаток тех условий, как естественных, так и теперь антропогенных, в которых они развиваются. Почва – это сложно функционирующая динамическая система, в которой все три фазы состояния вещества, – твердая, жидкая и газообразная, а также и живое вещество – взаимодействуют друг с другом в результате множества процессов различной природы, скорости и интенсивности. При этом вещества могут преобразовываться из

одной фазы в другую. К тому же они отличаются способностью перемещаться вверх и вниз по почвенному профилю.

Почва тесно связана с элементами геосфер в каждом ландшафте, а значит, и с Землей в целом, играя активную роль в глобальных биогеохимических циклах вещества. Происходит обмен между воздухом почвы и атмосферы. Движение воды сквозь почву в процессах инфильтрации, испарения, стока и пр. обусловливают активное участие почвы в глобальном круговороте воды. При этом вода также образует и переносит почвенные растворы, активно участвуя в процессах почвообразования. Верхняя часть литосферы, подверженная процессам выветривания, является источником минеральных компонентов в почве.

Таким образом, почва может рассматриваться как природное тело, как динамическая система и как компонент ландшафта.

Основными функциями почвенного покрова, по В.А. Ковде, являются:

– биоэкологическая (размещение и функционирование живого вещества);

– биоэнергетическая (преобразование солнечной энергии, аккумулированной в гумусе и других органических веществах, в биомассу);

– фиксация азота и образование белков;

– активный агент в глобальных биогеохимических циклах основных химических элементов;

– преобразование подстилающих кристаллических пород в измельченные фракции (выветривание);

– гидрологическая (активный водообмен между геосферами);

– метеорологическая (вклад в формирование состава и режима атмосферы).

Эти функции определяют очень многие взаимосвязи в глобальном механизме экосферы как системы.

Итак, почва – это полифункциональная природная система. Из многочисленных важнейших функций следует выделить наиважнейшие, а именно определяющую роль почвы в производстве первичной биологической продукции как основы ряда возобновимых природных ресурсов и главного источника питания человечества, и роль почвы как тонкой поверхностной оболочки экосферы, через которую осуществляется обмен веществом и энергией во многих звеньях глобальных биогеохимических циклов и регулируется химический состав вод и воздуха. Можно сказать, что роль почвы во многом похожа на роль кожи у животных.

Большая часть проблем геоэкологии так или иначе связана с

педосферой. Химические изменения атмосферы и вытекающие отсюда последствия зависят от участия почвы в глобальных биогеохимических циклах вещества. Состояние океанов, окраинных и внутренних морей и в особенности прибрежных зон в сильной степени определяется выносом наносов, растворенных и взвешенных химических веществ со стоком с материков. А в формировании стока всех этих веществ, равно как и собственно жидкого стока, почвенный покров и его состояние играют очень большую роль.

Изменения состояния и продуктивности природных экосистем и, в частности, обезлесение и опустынивание влияют на состояние почвенного покрова, а оно, в силу существования обратных связей, влияет на дальнейшее снижение продуктивности. Наконец, ряд проблем окружающей среды, возникающих в искусственно созданных или очень сильно преобразованных человеком экосистемах, таких как агроэкосистемы, также тесно взаимосвязаны с состоянием почвенного покрова или его воздействием на другие компоненты экосферы.

Что касается потенциального плодородия, то бóльшая часть суши непригодна, малопригодна или неудобна для земледелия из-за следующих ограничений (в %% от общей площади свободной ото льда суши):

| | |
|---|---|
| Засушливость | 28% |
| Ограничения по минеральному составу | 23% |
| Малая мощность почв | 22% |
| Переувлажнение | 10% |
| Вечная мерзлота | 6% |

Заметим, что почвы могут быть малопригодны сразу по нескольким признакам, и поэтому общая площадь непригодных к использованию почв меньше, чем сумма указанных выше показателей. Согласно одной из оценок, в мире имеется 32,8 км$^2$ пригодных к пахоте почв, или 22 % общей площади суши.

## VII.2. Антропогенная деградация почв

Скорости природных процессов, протекающих в почве, и скорости антропогенных процессов, возникающих при использовании почвы, весьма различны. Например, ежегодные темпы водной эрозии пашни в десятки раз превышают естественные темпы восстановления почвы. Строго говоря, с естественно-научной точки зрения почвы – это возобновимый

природный ресурс, но практически, вследствие малых скоростей естественных процессов по сравнению с антропогенными, этот ресурс во многих ситуациях может рассматриваться как невозобновимый. Использование почв зачастую приводит к ухудшению их природных свойств, то есть к их деградации. В процессе деградации ухудшаются многие свойства почвы, в том числе уменьшается содержание почвенного гумуса и теряется часть наиболее ценной, тонкодисперсной фракции почвы. Применение удобрений и других агротехнических приемов может временно компенсировать или затушевывать эффект деградации почв.

Деградация почв – явление столь же естественное, сколь и социальное. По определению Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП), *деградация почв – антропогенный процесс снижения способности почв обеспечивать существование людей.*

Явление деградации почв состоит из множества локальных проблем, складывающихся в общемировую мозаику.

В проблеме деградации почвенного покрова многочисленные и разнообразные локальные вопросы складываются в глобальную проблему. Деградация педосферы – одна из самых серьезных, долгосрочных, общемировых проблем, стоящих перед человечеством, потому что она играет столь важную роль в функционировании экосферы и потому также, что она – один из важнейших факторов в проблеме обеспечения населения мира продовольствием.

Методические трудности оценки деградации почв заключаются в невозможности установить единую точку отсчета во времени, от которой отсчитывалась бы деградация, а также установить единый показатель степени деградации. Деградацию почв можно охарактеризовать как «ползучую», как процесс, постепенно и потому незаметно ухудшающий их состояние (см. Раздел 1.3.).

Глобальная оценка деградации почв (Global Assessment of Soil Degradation – GLASOD), выполненная ЮНЕП (1990 г.), указывает на то, что только малонаселенные районы бореальных лесов и пустынь не затронуты антропогенной деградацией почв. На одной шестой части покрытой растительностью территории Земли отмечается та или иная степень деградации почв, развившаяся за последние 50 лет.

По оценке ЮНЕП, 15 % деградированных сельскохозяйственных земель относятся к категории «сильно деградированных». Это почвы, у которых исходные биотические функции – превращать биогенные вещества в формы, ассимилируемые растениями, – преимущественно разрушены, и

они уже непродуктивны. Эти почвы столь сильно деградировали, что их восстановление или невозможно, или же трудно достижимо в результате технических сложностей и крайне высокой стоимости такой работы. Например, восстановление богарных (неполивных) почв в США обходится в среднем в 4000 американских долларов на гектар. Другая часть деградированных почв (46 %) относится к категории умеренно деградировавших, со значительно сократившейся продуктивностью. Эти две категории составляют примерно четвертую часть пахотных земель мира.

Деградация почв происходит вследствие различных причин антропогенного характера. Водная и ветровая эрозия почв – важнейшие процессы, распространенные на 84 % деградировавших почв. К другим основным процессам деградации можно отнести ухудшение структуры почвы, ее техногенное загрязнение, засоление, заболачивание и подтопление. Площадь и степень деградации почв мира, по данным GLASOD, приведены в табл. 13.

Основные причины деградации почв мира: сведение лесов, главным образом для сельского хозяйства; перевыпас скота; несовершенное и технологически неправильное сельское хозяйство; переэксплуатация почв. Категории эти не имеют четких границ и переходят одна в другую.

*Таблица 13*

**Площадь и степень деградации почв мира**

| Типы и степень деградации почв | Площадь | |
|---|---|---|
| *Тип:* | млн км$^2$ | % |
| Смыв и разрушение водной эрозией | 10,9 | 56 |
| Развевание и разрушение ветровой эрозией | 5,5 | 28 |
| Химическая деградация (обеднение гумусом и биогенами, засоление, загрязнение, закисление и пр.) | 2,4 | 12 |
| Физическая деградация (переуплотнение, заболачивание, просадки и пр.) | 0,8 | 4 |
| *Всего* | 19,6 | 100 |
| *Степень:* | | |
| Слабая | 7,5 | 38 |
| Умеренная | 9,1 | 46 |
| Сильная | 3,0 | 15 |
| Очень сильная | 0,1 | 0,5 |

Как и в целом для мира, почвы на территории России значительно деградированы, при этом географическое распределение степени деградации неравномерное.

В России преобладают следующие процессы деградации почв:

1) снижение содержания гумуса (дегумификация); потери гумуса составляют в настоящее время в среднем около 0,6 т/га за год;

2) обесструктуривание, в том числе уплотнение из-за использования тяжелой сельскохозяйственной техники;

3) водная эрозия;

4) ветровая эрозия, или дефляция;

5) техногенное подкисление (выбросами промышленности и от удобрений);

6) загрязнение пестицидами;

7) промышленное загрязнение (вокруг крупных городов и мест горнодобывающей промышленности);

8) деградация вечной мерзлоты;

9) заболачивание и подтопление;

10) вторичное засоление.

В особенности следует отметить, что около 2/3 всей пашни России располагается на черноземах различных типов, то есть исходно на богатейших, наиболее плодородных почвах мира. Качество этих почв весьма сильно ухудшилось, как это демонстрируют данные для черноземов Русской равнины, с интервалом в 100 лет (табл. 14).

*Таблица 14*

**Изменение содержания гумуса в пахотном слое (0-30 см) черноземов центральной части Русской равнины за 1881–1981 гг.**

| Год | | 1881 | | 1981 | | Потери гумуса | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Показатели | Содержание,% | Запасы, т/га | Содержание,% | Запасы, т/га | За 100 лет, т/га | Ср. за год, т/га | За год, % |
| Лесостепь | 10–13 | 300–330 | 7–10 | 210–300 | 90 | 0,9 | 23–30 |
| Степь | 7–10 | 221–315 | 4–7 | 150–263 | 52–71 | 0,5–0,7 | 17–32 |

Как видим, за сто лет эксплуатации почв и концентрация, и запасы гумуса существенно уменьшились. Запасы гумуса сократились примерно на одну четверть. Деградация почв России – это колоссальная, трудно восполнимая потеря природного богатства. Однако деградация черноземов – это ущерб не только для России, но и для мира в целом, поскольку она связана со снижением потенциального плодородия почв мира и, следовательно, отрицательно влияет на решение проблемы обеспечения человечества продовольствием.

## VII.3. Земельные ресурсы мира и их использование

Площадь суши составляет 149 млн км$^2$, включая ледниковые покровы, практически безжизненные пустыни, водоемы, пустоши со слаборазвитой или разрушенной почвой. Из них ледниковые покровы занимают около 16 млн кв. км и свободная от льда суша – 133 млн кв. км. Часть суши, относительно пригодная для какого-либо использования, не превышает 95 млн км$^2$, или 64 % от общей площади суши. Это тот ограниченный резерв пространства, которым располагает человечество. С очень большим округлением можно сказать, что пашня занимает 10 % всей суши, пастбища – 20 %, леса – 30 % и неудобные земли разного типа – 40 %.

Согласно другой оценке, сельскохозяйственные земли (пашня, пастбища и потенциально пригодные к использованию неудобья) составляют 37 % всей свободной от льда площади суши, из которых примерно одна треть находится под пашней. В литературе встречаются различия в величинах площадей типов использования земель. Главным образом, они связаны с нечеткостью определений, что понимать, например, под пастбищем, лесом, пашней и пр.

Наиболее характерной чертой в использовании земельных ресурсов мира за последнее тысячелетие является увеличение площади пашни, отражающее рост потребностей населения мира в продовольствии. При этом итоговая площадь пастбищ как в мире в целом, так и в каждом из крупных районов изменялась в весьма малых пределах, тогда как площадь лесов несколько сокращалась. За период 1700–2000 гг. площадь пашни мира увеличилась с 2 до 12 % от общей площади свободной от ледников суши. Площадь пастбищ оставалась относительно постоянной, слегка более 50 %, а площадь лесов сократилась с 46 до 38 %.

Если основываться только на цифровых данных по историческим изменениям площади использования земель, то может создаться ложное впечатление, что расширение площади пашни происходило главным образом за счет исчезновения лесов. На самом деле, в зависимости от природной зоны, это происходило или за счет вырубки леса с последующей распашкой или вследствие трансформации в пашню степей, прерий, саванны и других безлесных ландшафтов. Процесс преобразования классов использования земель неоднозначен. Он зависит от многих естественных и общественных факторов. Часть распаханных территорий может вновь зарастать кустарником, вторичным лесом, травами и пр. Результирующая сумма площадей того или иного класса земель зачастую не отражает эти сложные процессы.

Кроме того, происходит перераспределение использования

земель. Растущая численность населения мира приводит к необходимости расширения площадей, необходимых для расселения людей и обеспечения их необходимыми услугами, например, системами сбора и преработки мусора, дорогами и автостоянками, системами коллективного транспорта и пр. Как правило, при этом в категорию городских переходят наилучшие сельскохозяйственные, преимущественно пахотные земли, потому что они наиболее удобны для населенных пунктов. Конкуренция между различными пользователями земельных ресурсов возрастает по мере усиления спроса на землю. При этом могут возникать неожиданные ситуации. Например, если бы Китай принял решение идти по пути интенсивной автомобилизации, сравнимой с США, то это привело бы к потере 20 % пашни КНР и без того драгоценной, потому что эта земля потребовалась бы на дороги и стоянки для сотен миллионов личных автомобилей.

В настоящее время площадь пахотных земель в мире составляет около 15 млн кв. км. при годовом приросте всего лишь около 0,1 % в год. Площадь пахотных земель в мире изменялась следующим образом (млн кв. км):

| 1971—1975 гг. | 1985 г. | 2000 г. |
|---|---|---|
| 14,8 | 15,0 | 15,4 |

Таким образом, рост пахотных площадей мира практически прекратился. Это связано прежде всего с тем, что территории, удобные для земледелия, уже почти все использованы. Таким образом, человечество вышло к еще одному пределу несущей способности экосферы. Достижение рубежа в особенности очевидно, если посмотреть на изменения площади пашни, приходящейся на одного человека. За период 1700–1950 гг. на душу населения мира приходилось 0,41—0,48 га/чел. Имея в виду не очень высокую надежность исходных данных, следует признать весьма высокую стабильность этого показателя в течение 250 лет. На этом фоне заметный прирост удельной площади пашни, от 0,41 до 0,48 га/чел. был в период между 1850 и 1920 гг., когда осваивались новые сельскохозяйственные территории преимущественно в Северной Америке и на востоке России.

Однако во второй половине этого столетия рост населения привел к прогрессирующему снижению удельной площади пашни до 0,34 га/чел. в 1980 г. и 0,29 га/чел. в 1990 г. Дальнейшее снижение этого показателя неизбежно вследствие практически неизменной площади пахотных земель при возрастающей численности населения.

Площадь под зерновыми культурами в мире в 1981 г. достигла наивысшего за всю историю максимума 7,32 млн кв. км, но к 1995 г. она понизилась до 6,69 млн кв. км. За эти пятнадцать лет были заброшены сильно эродированные земли на территории бывшего СССР, часть пашни была потеряна при индустриализации в Азии и доля пашни США, наиболее подверженной эрозии, снова стала залежью. Анализ ситуации для каждой из стран со значительной численностью населения показал, что с 1950 по 1990 гг. удельная площадь зерновых сократилась практически в каждой стране, и прогнозы указывают на их дальнейшее снижение к 2030 г. до катастрофически низких уровней, порядка 0,02– 0,05 га/чел., в таких странах, как Египет, Эфиопия, Нигерия, Пакистан, Бангладеш, Индонезия. Немногим лучше эти показатели для Индии и Китая.

При современной площади пашни, равной 15 млн кв. км, предельная величина площадей, пригодных для земледелия, оценивается разными авторами с весьма большими вариациями, преимущественно от 24 до 32 млн кв. км. Разница между потенциально пригодными и уже используемыми землями составляет 9-17 млн кв. км. Освоить эти площади весьма трудно по разным причинам.

Часть земель подвержена водной или ветровой эрозии, засолению, заболачиванию и другим неблагоприятным геоэкологическим явлениям, и потому находится в залежи.

Большой массив неиспользуемых, с точки зрения земледелия, территорий относится к зоне влажных экваториальных лесов в Южной Америке и Африке. Для этой зоны пока еще не найдены экологически устойчивые методы земледелия. Да и вряд ли было бы правильно стремиться к превращению влажных экваториальных лесов в пашню вследствие неизбежного нарушения глобального экологического равновесия.

Помимо того, в Африке значительные площади почти не используются человеком из-за распространения мухи це-це, с сопутствующими ей болезнями людей и домашнего скота. Это в основном ландшафты саванны, и там можно, по-видимому, ожидать некоторого расширения посевных площадей, если борьба с болезнями и ее переносчиками окажется успешной. Земли с горным или расчлененным рельефом теоретически пригодны к использованию, но фактически затраты на экологически устойчивую эксплуатацию новых земель оказались бы слишком велики.

Весь вопрос в том, во что обойдется килограмм продукции земледелия, если посчитать все затраты. Если включать в стоимость освоения новых земель как экономические затраты, так

и невосполнимые потери качества окружающей среды, такие как смыв почв и увеличение стока наносов, то стоимость урожая окажется чрезмерно высокой. Вероятно, человечество должно удовлетворять свои растущие потребности в продуктах сельского хозяйства главным образом используя земли, уже находящиеся в настоящее время в использовании, так как они более устойчивы экологически, и полная стоимость продукта была бы не столь велика. По-видимому, основной стратегической линией в использовании земельных ресурсов мира для земледелия должно быть ограничение роста пахотных площадей на уровне, близком к современному.

Важнейшее использование земли – производство продуктов питания. Вследствие роста численности населения и его потребностей увеличение производства продуктов сельского хозяйства объективно необходимо. Оно зависит от двух основных факторов: количества земли, на которой возможна сельскохозяйственная деятельность, и потенциального плодородия каждой единицы этой земли.

Растущий спрос на продовольствие и расширяющаяся экономика мира оказывают серьезное воздействие на стратегию использования земельных ресурсов и их состояние. Если невозможно обеспечить растущие потребности в продовольствии посредством включения в производство новых земель, то остается другой путь – повышение плодородия почв посредством интенсификации сельского хозяйства; но этот путь создает серьезную угрозу для экосферы как основного источника продовольствия. Такая угроза уже реально проявляется в виде разного рода последствий сельскохозяйственной деятельности, и она может резко усилиться при дальнейшей ее интенсификации.

## VII.4. Геоэкологические проблемы земледелия

Естественные экосистемы, как правило, замкнуты, то есть отличаются весьма малыми потоками вещества и энергии через их границы. Любая сельскохозяйственная экосистема существенно отличается от природных экосистем значительными потоками вещества и энергии через ее границы из-за выноса веществ в виде урожая, поступления удобрений, воды для орошения, пестицидов и т. п. Центральным звеном в агроэкосистеме является почва, в которой, несмотря на массированные антропогенные воздействия, плодородие должно сохраняться на определенном уровне, чтобы обеспечивать ожидаемый уровень продукции. При этом возникает ряд проблем окружающей среды на уровне отдельного сельскохозяйственного

поля. Другая группа проблем связана с воздействием сельского хозяйства на окружающую среду за пределами поля и часто весьма далеко за пределами.

Основные неблагоприятные процессы на уровне поля снижают плодородие почв, модифицируя их физическое, химическое и биологическое состояние. Это водная и ветровая эрозия, последствия применения удобрений и пестицидов, уплотнение почвы, ее загрязнение, а также засоление, подтопление и заболачивание почв.

### VII.4.1. Водная и ветровая эрозия почв

Эрозия почв – это естественный геоморфологический процесс, неотъемлемое звено как глобальных биогеохимических циклов, так и глобального цикла денудации-аккумуляции. Наибольшие величины естественной водной эрозии вне горных территорий наблюдаются в зонах полупустынь и степей. Здесь количество осадков, составляющее около 250–500 мм в год, еще достаточно велико, чтобы обеспечить размыв и смыв почвы, а естественная растительность уже не полностью защищает почву от воздействия дождевых капель. Наименьшие величины естественной водной эрозии характерны для тех ландшафтных зон, где сплошная, зачастую многоярусная растительность защищает поверхность почвы от размыва (в зонах влажных лесов) или где осадков недостаточно для заметного смыва (зоны пустынь). Распределение естественной водной эрозии почв в мире в целом подчиняется закону географической зональности.

Максимум естественной ветровой эрозии располагается в аридных зонах (полупустыни и пустыни). На глобальном уровне роль ветровой эрозии, по-видимому, меньше, чем водной эрозии. Общая площадь в мире, подвергающаяся необратимым изменениям вследствие ветровой эрозии, невелика, но локальный эффект этого процесса может быть весьма серьезным.

При превращении природной экосистемы в сельскохозяйственное поле условия для эрозии резко меняются. Поверхность почвы становится слабо прикрытой растительностью, а значительную часть года и вовсе голой. Многочисленные данные указывают на то, что при преобразовании лесного ландшафта в полевую агроэкосистему величины эрозии увеличиваются по крайней мере на два-три порядка величины, а при преобразовании открытого (нелесного) ландшафта – на один-два порядка. Поэтому при сельскохозяйственном освоении территорий эрозия почв резко увеличивается и затем остается на высоком уровне.

В России почти половина площади почв подвержена водной и ветровой эрозии. На 5 млн га бывшего СССР располагаются сильно эродированные почвы, на которых урожаи не превышают 40 % от тех, которые были бы при неизмененной почве. В последние годы существования СССР с полей выносилось 100 млн тонн гумуса и более 40 млн тонн соединений азота, фосфора и калия в год. Это в полтора раза больше количества вносимых в почву удобрений, и, таким образом, потенциальное плодородие почвы неуклонно снижалось.

Многочисленные факты из других районов мира также указывают на чрезвычайно высокую степень снижения естественного плодородия почв.

В США за последние 200 лет смыто около трети верхнего слоя почвы, и естественное плодородие сократилось на 10–15 %. Около двух третей пашни США нуждаются в защите от эрозии. Почвенная эрозия в США уносит приблизительно вдвое больше биогенных веществ, чем их вносится в почву в виде удобрений. Около половины наносов рек США обязаны своим происхождением эрозии почв.

Еще хуже ситуация с эрозией почв в развивающихся странах, где благоприятные для эрозии природные условия сочетаются, как правило, с низким уровнем противоэрозионной агротехники. На о. Ява, например, рост доходов сельскохозяйственного производства за последние 10–15 лет составлял около 4 % в год, но эта величина примерно равна потерям плодородия почв в результате эрозии. В Зимбабве эрозия уносит втрое больше биогенов, чем их вносится ежегодно.

Главня причина эрозии почв – сельское хозяйство. Например, в штате Нью-Йорк (США) земледельческие системы занимают 20 % площади, но они дают 63 % всего объема эрозии почв штата.

Противоэрозионная способность почв зависит от содержания гумуса и карбонатов, концентрации катионов в поглощающем комплексе, механических и агрегатных свойств почвы. Каждый генетический тип почвы отличается характерным для него набором параметров. Наибольшей эрозионной устойчивостью среди почв Русской равнины обладают черноземы. К северу и югу от зоны черноземов устойчивость почв к водной эрозии снижается. С другой стороны, более 70 % черноземов мира распахано. Поэтому общий объем эрозии в черноземной зоне под влиянием земледелия значительно увеличился.

Насколько увеличилась эрозия почв мира вследствие трансформации естественных экосистем в пашню? Автором были выполнены расчеты влияния сельского хозяйства на водную эрозию почв мира. Установлено, что с полей смывается ежегодно

не менее 90 млрд тонн почвы. Для сравнения, твердый сток рек мира оценивается в 20 млрд т в год. В настоящее время водная эрозия почв в пять раз больше, чем она была при ненарушенных земледелием условиях. Объем смытой почвы содержит больше фосфора, чем все производство фосфорных удобрений в мире за год.

Главные потенциальные резервы земельных ресурсов под пашню располагаются в тропических и экваториальных районах. Расширение площади пашни приведет там к значительному росту эрозии почв. Продолжающееся обезлесение приведет к дальнейшему увеличению эрозии почвы, в особенности во влажной экваториальной зоне, где, по сравнению с доземледельческим периодом, эрозия уже увеличилась в 8 раз, и при условии использования всех доступных земельных ресурсов может вырасти в 24 раза.

Наибольшее увеличение эрозии почвы, в 33 раза по сравнению со временем до начала земледелия, отмечается в районах достаточного увлажнения умеренного пояса, где по климатическим условиям изначально произрастали леса и где площадь пашни весьма велика.

На уровне речного бассейна смытые почвы представляют собой повышенное количество наносов, переносимых реками. Увеличение стока наносов приводит к заилению водохранилищ, каналов, оросительных систем и судоходных путей. Для условий США подсчитано, что это приносит больше экономического ущерба, чем снижение плодородия почв в результате эрозии почв.

Далеко не весь рыхлый материал, образующийся вследствие эрозии пахотных почв, достигает больших рек и океана. Преимущественная часть его отлагается ниже по склону и в гидрографической сети первого порядка. Чем выше порядок сети или чем больше площадь бассейна, тем меньшая доля наносов попадает в реки.

В бассейне Оки, например, распределение отложенных наносов по элементам рельефа выглядит следующим образом:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| В пределах склонов — 60% | В долинах без постоянного стока — 20% | В долинах малых рек — 10% | В долинах средних рек и главной реки — 10% | Всего: 100% |

Отношение объема наносов, достигших определенного створа на реке, к объему первоначально образовавшихся наносов называется показателем поступления наносов (Sediment Delivery Ratio – SDR). Величина SDR находится в обратной нелинейной

зависимости от площади бассейна. Обширный фактический материал был собран Уишмайером и Смитом (США) в различных районах мира при разработке так называемого Универсального уравнения потерь почвы (Universal Soil Loss Equation). Он позволил получить следующее выражение для определения показателя поступления наносов (SDR):

$$SDR = kS^n.$$

Здесь S – площадь бассейна, k и n – числовые параметры. Параметр n изменяется в пределах от -0,01 до -0,25.

Геоморфологические и геологические исследования подтверждают ведущую роль расширяющегося земледелия в увеличении эрозии почв и стока наносов. На юго-востоке Украины в балках, не имеющих постоянного стока воды, отмечены значительные отложения наносов, аккумулированные 100–150 лет тому назад, то есть во времена земледельческого освоения южных степей. Анализ кернов осадков в Черном море показал, что средняя скорость осадконакопления в период 7000–2000 лет тому назад составляла 90 млн т в год. Затем скорость накопления увеличилась до 250 млн т в год, причем она была наибольшей в X–XV вв., когда происходила наиболее активная трансформация лесов в агроэкосистемы в бассейне Дуная.

Русло реки Хуанхэ в нижнем течении чрезвычайно неустойчиво. Река течет в собственных отложениях, очень быстро и резко изменяя свое положение и вызывая катастрофические паводки. За последние 4000 лет было около 1500 наводнений, в результате которых русло реки перемещалось на десятки и сотни километров 26 раз. И все же до времени примерно 1000–2000 лет тому назад река Хуанхэ имела относительно нормальный режим стока наносов. Затем сельскохозяйственное освоение Китая привело к распашке поверхности Лессового плато в бассейне р. Хуанхэ, где эрозии стали подвергаться чрезвычайно легко размываемые, тонкие отложения лесса. Мутность воды необычайно возросла и достигает сейчас 1 т/куб. м. Сток наносов Хуанхэ около 1 млрд т в год, или около 10 % стока взвешенных наносов всех рек мира. Это ставит ее на второе место в мире наряду с Гангом-Брамапутрой. На реке построено несколько водохранилищ, работающих в специальном режиме, препятствующем накоплению большей части переносимых наносов, но выполняющих свою основную функцию увеличения стабильных водных ресурсов.

### VII.4.2. Геоэкологические последствия применения

**удобрений**

Для своего развития растения нуждаются в определенном количестве биогенных веществ (соединений азота, фосфора. калия и др.), обычно поглощаемых из почвы. В естественных экосистемах биогены, ассимилированные растительностью, возвращаются в почву в результате процессов деструкции в круговороте вещества: разложения плодов, растительного опада, отмерших побегов, корней и пр. Некоторое количество соединений азота фиксируется бактериями из атмосферы. Часть биогенов привносится с осадками. На отрицательной стороне баланса находятся инфильтрация и поверхностный сток растворимых соединений биогенов, их вынос с почвенными частицами в процессе эрозии почвы, а также преобразование соединений азота в газообразную фазу с уходом ее в атмосферу.

В природных экосистемах скорость накопления или расходования питательных веществ обычно невелика. Например, для девственной степи на черноземах Русской равнины соотношение между потоком соединений азота через границы избранного участка степи и его запасами в верхнем метровом слое составляет около 0,0001, или 0,01 %. Можно сказать, что в масштабах жизни человека, или даже общества, баланс биогенных веществ, так же как и гумуса, для девственных (первичных) экосистем замыкается с высокой точностью.

Сельское хозяйство нарушает естественный, практически замкнутый баланс биогенов. Ежегодный урожай уносит часть биогенов, содержащихся в произведенном продукте. В агроэкосистемах скорость выноса питательных веществ на 1–3 порядка больше, чем в природных системах, причем чем выше урожай, тем относительно больше интенсивность выноса. Следовательно, даже если первоначальный запас питательных веществ в почве и был значительным, в агроэкосистеме он может израсходоваться сравнительно быстро.

Всего в мире с урожаем зерна выносится, например, около 40 млн т азота в год, или примерно 63 ˆN на 1 га площади зерновых. Отсюда следует необходимость применения удобрений для поддержания плодородия почвы и повышения урожаев, так как при интенсивном земледелии без удобрений плодородие почвы снижается уже на второй год. Обычно применяются азотные, фосфорные и калийные удобрения в различных формах и сочетаниях, в зависимости от местных условий. В то же время применение удобрений маскирует деградацию почв, заменяя естественное плодородие на плодородие, базирующееся в основном на химических удобрениях.

Производство и потребление удобрений в мире неуклонно росло, увеличившись за 1950–1990 гг. приблизительно в 10 раз. Среднее мировое использование удобрений в 1993 г. составляло 83 кг на 1 га пашни, из них примерно половина – азотных удобрений. За этой средней величиной скрыта большая разница в потреблении различных стран. В Нидерландах применяется больше всего удобрений, и там уровень применения удобрений в последние годы даже сократился: от 820 до 560 кг/га. С другой стороны, среднее потребление удобрений в Африке в 1993 г. составляло лишь 21 кг/га, причем в 24 странах применяли 5 и менее кг/га.

Наряду с положительными результатами, удобрения создают также экологические проблемы, в особенности в странах с высоким уровнем их применения. О загрязнении природных вод нитратами и о связанной с этим эвтрофикации водоемов уже говорилось в главе, посвященной проблемам гидросферы.

Нитраты опасны для здоровья человека, если их концентрация в питьевой воде или продуктах сельского хозяйства выше установленной ПДК. Концентрация нитратов в воде, стекающей с полей, обычно находится между 1 и 10 мг N/л, а с нераспаханных земель она на порядок меньше. По мере роста массы и продолжительности применения удобрений все большее количество нитратов попадает в поверхностные и подземные воды, делая их непригодными для питья. Если уровень применения азотных удобрений не превышает 150 кг N/га в год, то в природные воды попадает примерно 10 % от объема применяемых удобрений. При более высокой нагрузке эта доля еще выше. В особенности серьезна проблема загрязнения подземных вод после того, как нитраты попали в водоносный горизонт.

Водная эрозия, унося почвенные частицы, переносит также содержащиеся в них и адсорбированные на них соединения фосфора и азота. Если они попадают в водные объекты с замедленным водообменом, улучшаются условия для развития процесса эвтрофикации. Главным загрязнителем воды рек США стали растворенные и взвешенные соединения биогенов.

Зависимость сельского хозяйства от минеральных удобрений привела к серьезным сдвигам в глобальных циклах азота и фосфора. Промышленное производство азотных удобрений привело к нарушению глобального баланса азота вследствие роста объема доступных для растений соединений азота на 70 % по сравнению с доиндустриальным периодом. Избыток азота может изменить кислотность почв, а также содержание в них органического вещества, что может привести к дальнейшему

выщелачиванию питательных веществ из почвы и ухудшению качества природных вод.

По нашей оценке, смыв фосфора со склонов в процессе почвенной эрозии составляет не менее 50 млн т в год. Эта цифра сравнима с годовым объемом промышленного производства фосфорных удобрений. По другой оценке, в 1990 г. столько же фосфора было вынесено реками в океан, сколько было внесено на поля, а именно 33 млн т. Поскольку газообразных соединений фосфора не существует, он перемещается под воздействием силы тяжести, главным образом с водой, преимущественно с континентов в океаны. Это ведет к хроническому дефициту фосфора на суше и, вероятнее всего, к еще одному глобальному геоэкологическому кризису.

Зависимость величины урожая от объема применяемых удобрений в целом похожа для любой культуры: растение заметно реагирует на первые порции применяемых удобрений, при последующих порциях прирост урожая становится меньше, а затем уже прироста практически нет (кривая зависимости в этой области стремится к асимптоте), а при дальнейшем увеличении нагрузки удобрениями может отмечаться и снижение урожая. Деградация почв, обсуждавшаяся выше, не остановила рост сельскохозяйственного производства, потому что фермеры в мире применяли все больше удобрений, чтобы компенсировать теряемое природное плодородие почв, и при этом увеличивать урожаи.

В настоящее время рост применения удобрений вызывает все меньшее приращение урожая (на кривой зависимости урожая от нагрузки удобрениями эта ситуация находится в зоне асимптоты). Вследствие этой причины, а также вследствие изменения типа экономики в ряде стран, объем применения удобрений в мире не растет с 1990 г. В такой ситуации удобрения более не маскируют снижение плодородия почв, потому что они не могут заменить другие важные компоненты почвы как сложного природного тела: органического вещества, тонкой фракции почвы, водоудерживающей способности почвы, почвенной фауны беспозвоночных и микроорганизмов и пр.

В то же время развивающиеся страны нуждаются в более высоком уровне применения удобрений, что неизбежно повлечет за собой рост геоэкологических проблем.

Научно обоснованные стратегии сельского хозяйства должны исследовать возможности сокращения объема применяемых удобрений в целях поиска оптимального уровня их применения, а также включать такие компоненты, как корректная технология их применения и защита почв от эрозии.

## VII.4.3. Геоэкологические последствия применения пестицидов

Значительная часть урожая уничтожается вредителями и погибает вследствие болезней как на поле, так и, позднее, в хранилищах. Иногда потери достигают половины урожая (в бывшем СССР – до 30–40 %, в США – 33 %). Одно из основных направлений борьбы с вредителями сельского хозяйства (насекомыми, грызунами, грибками, сорняками и пр.) – это применение химических веществ, называемых пестицидами. В США, например, необходимо бороться со 160 видами патогенных грибов и бактерий, 250 вирусов, 8000 насекомых и клещей, 2000 сорняков.

Пестициды – это общее название для всех химических веществ, применяемых для борьбы с вредителями, а также и название для части веществ, применяемых против насекомых. Гербициды применяются для контроля сорняков, фунгициды – против грибков, родентициды – против грызунов. Основной потребитель пестицидов – сельское хозяйство. В СССР в 1989 г. 88 % всей пашни обрабатывалось пестицидами.

Всего в мире используется не менее 180 пестицидов в виде нескольких тысяч препаративных форм. За десятилетия 1960–1980 гг. объем пестицидов, применяемых в сельском хозяйстве мира, увеличился на порядок. Однако затем употребление пестицидов стало замедляться вследствие обнаруженных серьезных проблем. В России и прилегающих странах уровень производства и применения пестицидов понижается также вследствие экономической депрессии.

Большинство проблем, связанных с применением пестицидов, связано с тем, что практически все пестициды являются ксенобиотиками – чуждыми для природы химическими соединениями.

По оценкам Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ), ежегодно в мире от применения пестицидов умирают 20 000 человек и получают отравление около 1 млн чел., со значительными последствиями для здоровья. Многочисленные исследования однозначно свидетельствуют, что любое увеличение пестицидных нагрузок повышает частоту распространения самых различных патологий, ведет к увеличению заболеваемости (в особенности детей) не только посредством прямого поражения организма человека, но и путем подавления иммунной системы, нарушения процессов роста, развития и обмена веществ. Если применение пестицидов в мире будет возрастать, то можно ожидать соответствующего

увеличения заболеваемости и смертности.

Воздействие пестицидов на природу столь же серьезно, как и воздействие их на человека. Каждый вид, численность которого подлежит регулированию, обитает вместе с сотнями видов, численность которых изменять нежелательно. Сплошь и рядом менее одного процента применяемых пестицидов достигает цели. Остальные 99 % попадают в окружающую среду, загрязняя почву, воздух и воду и отравляя биоту, часто с непредсказуемыми последствиями.

Большую роль в плодородии почв играет почвенная биота. Подавляя вредителей, человек снижает также численность почвенных организмов. В пойменных почвах Нечерноземья насчитывалось до 300 дождевых червей на 1 кв. м, пропускавших сквозь свой кишечник ежегодно до 10 кг почвы. В настоящее время их численность сократилась в десятки и сотни раз.

Многообразные пестициды различным неблагоприятным образом воздействуют на ландшафты и их компоненты. Группы животных, наиболее страдающих от пестицидов, оказываются (в порядке увеличения степени поражения): беспозвоночные, рыбы, птицы, млекопитающие, микроорганизмы. Внутренние водоемы загрязняются пестицидами и продуктами их распада. Пестициды сыграли, например, немалую роль в ухудшении состояния Аральского моря, его притоков и бассейна. Исследование поведения пестицидов в ландшафте в зависимости от географических условий – важная и пока недостаточно изученная проблема.

Попавший в окружающую среду пестицид включается в процессы биоаккумуляции, когда может происходить многократное (до сотен тысяч раз) повышение его концентрации по мере продвижения пестицидов по пищевым цепям. В результате отдельные, иногда отдаленные от пестицидной мишени, звенья пищевых цепей могут оказаться крайне токсичными. Широко известен пестицид ДДТ, почти везде запрещенный к использованию (но это запрещение не всегда выполняется). Период полного распада ДДТ составляет многие десятки лет, и около половины произведенного промышленностью препарата еще находится в окружающей среде. Биоаккумуляция ДДТ в экосистеме озера Мичиган приводит к его накоплению в рыбоядных птицах в 180 тыс. раз большему, чем его концентрация в озерной воде:

| | |
|---|---|
| ДДТ в воде | - 0,014 мг/л |
| ДДТ в зоопланктоне | - до 5 мг/л |
| ДДТ в мелкой рыбе | - до 10 мг/кг |
| ДДТ в крупной рыбе | - до 200 мг/кг |
| ДДТ в рыбоядных птицах | - до 2500 мг/кг |

Последствия биоаккумуляции пока еще не полностью поняты и могут оказаться даже более опасными, чем это видится сейчас.

Другая серьезная проблема применения пестицидов в том, что вредители привыкают к пестицидам, это привыкание передается по наследству, снижая эффективность пестицидов и заставляя вводить в использование все новые и новые химические вещества. Это явление, так называемая резистентность, привело к тому, что более десятка массовых видов насекомых развили нечувствительность ко всем основным классам применяемых соединений. К ним относятся домовая муха, таракан, колорадский картофельный жук, капустная моль и др. Резистентность к применяемым пестицидам вырабатывается через 10–30 поколений, так что в недалеком будущем, при современной стратегии прменения пестицидов, все основные вредители могут стать резистентными.

Если обобщить проблемы применения пестицидов, то можно сказать, что их основная опасность заключается в нарушении жизнеобеспечивающих свойств экосферы и ухудшении состояния здоровья людей.

В долгосрочной перспективе большая часть применяемых химических веществ должна быть запрещена и заменена на биологические средства борьбы (или, скорее, на интегрированные биологические, химические и другие средства защиты урожая). Однако немедленный запрет вряд ли возможен. На переходный период необходимо соблюдать несколько весьма очевидных правил. Следует вспомнить старый закон медицины: «Если можешь, не вреди», то есть не применяй пестициды там, где не надо и когда не надо. Должны применяться пестициды с относительно коротким временем распада. Не следует стремиться к поголовному истреблению вредителя, что вряд ли возможно, а лишь к поддержанию его численности на заданном, низком уровне.

### VII.4.4. Уплотнение почвы

Существуют две основные линии интенсификации сельского хозяйства: увеличивающееся применение или технологии (механизмов, энергии и пр.), или ручного труда. При

технологически интенсивном сельском хозяйстве (где производится около половины продовольствия мира на одной пятой пахотной площади) широко используются сельскохозяйственные машины. Всего в мире в сельскохозяйственном производстве используется более 30 млн тракторов, не считая комбайнов, плугов, сеялок и пр., а также грузовиков. Почти все эти машины очень тяжелые. Некоторые сельскохозяйственные машины превышают допустимую нагрузку даже на асфальтированные дороги.

Многократное использование за сезон и за многие годы тяжелых сельскохозяйственных машин приводит к уплотнению почв. Разрушается структура почвы, снижается ее пористость, ограничивается развитие корней растений, и, таким образом, неуклонно снижается плодородие почвы. Если эти процессы развиваются в верхнем слое почвы, то ситуация может быть скорректирована ежегодной вспашкой. Но все более интенсивное использование тяжелых машин приводит к уплотнению глубоких горизонтов почвы, что не может быть исправлено снятием нагрузки или вспашкой.

### VII.4.5. Геоэкологические проблемы орошения

Орошение применяется издавна, чтобы обеспечить повышенный и устойчивый урожай. На 1995 г. площади орошаемых земель в мире составляли около 250 млн га. Это всего лишь 17 % пашни, но они обеспечивают около одной трети всех продуктов земледелия.

Большинство древних цивилизаций основывалось на орошаемом земледелии. Однако истинное расширение орошения произошло в течение этого столетия, когда площадь орошаемых земель в мире выросла в 5–6 раз. В начале XX в. площадь орошаемых земель в мире не превышала 40 млн га. Наиболее интенсивный рост площадей орошения был в 1950–1960 гг., но затем он замедлился, а в некоторых странах, например в США, стал отрицательным. Прирост орошаемых площадей в мире в течение XX в. превысил прирост численности населения и был, таким образом, важным фактором в решении проблемы продовольствия.

Имеется несколько причин снижения темпов развития орошения:

– высокая стоимость новых проектов, в среднем не менее 1000–2000 долларов США за гектар;

– невыгодность вложения средств в проекты орошения по сравнению с другими областями инвестиций;

– дефицит водных ресурсов;

– дефицит подходящих земель;

– потеря орошаемых территорий вследствие засоления, заболачивания и подтопления почвы;

– деградация оросительных систем.

На территории бывшего СССР заметный прирост орошаемых площадей, происходивший в течение 1955–1985 гг., резко остановился во второй половине 1980-х гг., сначала вследствие протестов экологических движений, полагавших, что в конечном итоге гидромелиоративные проекты приносят больше вреда, чем пользы, а затем из-за отсутствия средств вследствие деградации экономики.

Особенности развития орошения и сопутствующие ему проблемы ассоциируются с тремя основными геоморфологическими типами земель (в основном на материале Средней Азии):

а) высокие и приподнятые подгорные равнины, первые террасы рек. Обычно они состоят из водопроницаемых отложений, таких как песок или гравий. Поэтому они не нуждаются в искусственном дренаже, а почвы не подвержены засолению. Это районы традиционного устойчивого орошения, существовавшего в течение столетий и даже тысячелетий;

б) низкие подгорные равнины, межгорные депрессии, вторые и третьи террасы древних озер и рек. Они сложены лессами, суглинками, глинами и не обладают достаточными дренирующими свойствами. Почвы содержат значительные запасы солей. Эти территории нуждаются в искусственном дренаже из-за опасности засоления и заболачивания почв;

в) морские и внутриконтинентальные дельты, низкие равнины и депрессии, террасы в низовьях рек. Они сложены глинами и суглинками и практически не обладают естественным дренажом. Подземные воды соленые и залегают близко к поверхности. До начала развития ирригации необходимо промыть почвы и построить глубокий дренаж. В большинстве случаев резервы земель для орошения располагаются именно на таких территориях, что делает новые проекты орошения весьма дорогими и со значительными сопутствующими экологическими проблемами.

Орошение – безусловно благо для человечества, но одновременно оно приносит серьезные проблемы, прежде всего, геоэкологического характера. Превращение естественного ландшафта в агроэкосистему всегда приводит к очень глубоким преобразованиям состояния и режима территории. Это еще более верно, когда естественный ландшафт превращается в систему

орошения, то есть в новую, почти полностью искусственную инженерную систему. Ведущие процессы коренным образом изменяются: вместо малого количества воды, поступающей с атмосферными осадками, что характерно для засушливых областей, поле получает большое количество воды. В результате изменяется основной тип водного режима почвы: вместо непромывного режима, когда воды не промачивают ежегодно почвенный профиль, возникает промывной режим, при котором происходит ежегодное, обычно многократное промачивание почвы. Изменяются все особенности режима почвы, в том числе условия миграции химических соединений, а затем и физические свойства почвы.

При значительном развитии ирригации не только отдельное поле или оросительная система претерпевают глубокие геоэкологические изменения, но они захватывают речные бассейны, включая такие крупные, как Нил, Колорадо, Инд или Амударья.

Опыт показывает, что какая бы территория ни находилась под влиянием орошения, будь это речной (озерный) бассейн, оросительная система или поле, она приобретает тенденцию к деградации, и требуются постоянные, энергичные меры, поддерживающие ее устойчивость и, таким образом, контролирующие ситуацию. Существует масса примеров этого как из прошлого, так и из настоящего. Природа ничто не отдает бесплатно: чем больше ее нарушаешь, тем больше надо платить за это.

Поскольку основная задача ирригации – это поддержание оптимальной влажности почвенного слоя для развития растений, то орошение – главный пользователь воды в мире, который забирает во многих странах свыше 90 % всей имеющейся у них воды.

С точки зрения ресурсов, главная проблема в малой эффективности использования воды. Коэффициент полезного действия для поля или оросительной системы есть отношение объема используемой растениями воды к объему забираемой воды. Он сильно варьируется, в зависимости от многих условий, но в целом можно сказать, что обычно к.п.д. находится в пределах 0,4–0,6.

Существует много причин неэффективного использования воды. Одна из них, может быть главнейшая, в том, что цена за воду (если она вообще есть) намного ниже, чем ее социальная стоимость. Во многих случаях и во многих странах вода для орошения бесплатна или же она ниже даже затрат на поддержание систем орошения, не говоря уже о капитальных

затратах. В результате воду не экономят, и чрезмерное расходование воды типично для большинства оросительных систем мира, независимо от типа экономической системы.

Непропорционально высокое расходование воды, превышающее потребности растений, приводит к неблагоприятным экологическим последствиям. Главное из них – подъем уровня грунтовых вод вследствие избыточного количества оросительной воды при недостаточно эффективном или отсутствующем дренаже. Это приводит к подтоплению или заболачиванию территории. (При подтоплении уровень грунтовых вод находится близко к поверхности почвы, а при заболачивании вода стоит на поверхности почвы.)

Кроме того, соли, вымываемые из почвы, вместе с солями, находящимися в значительном количестве в грунтовых водах, оказываются в пределах почвенного профиля, вызывая тем самым чрезвычайно неблагоприятный для земледелия процесс – засоление почв. Предотвращение засоления заключается в обеспечении хорошего дренажа почв, то есть в обеспечении отвода избыточного количества воды. Существуют земли с хорошим естественным дренажом. Обычно это территории традиционного орошения. В остальных случаях необходимо строить инженерные системы дренажа. Для удешевления строительства это не всегда делается, но скупой, как известно, платит дважды, потому что мелиорация засоленных почв обходится дороже, чем первоначальное сооружение дренажа.

Примерно четверть орошаемых площадей мира в той или иной степени засолена, и очень большие территории совершенно выведены из обращения как прошлыми цивилизациями, так и в результате хозяйствования последних десятилетий.

Если главной экологической проблемой ирригации на уровне поля или оросительной системы является проблема заболачивания и засоления, то основной проблемой на уровне речного бассейна является значительное увеличение транспорта растворенных солей. По оценкам Н. Ф. Глазовского, общий перенос солей с дренажными водами с орошаемых полей мира составляет 2 млрд т в год. Этот перенос стал одним из основных компонентов глобальных биогеохимических циклов. Для сравнения, транспорт растворенных веществ с речным стоком мира составляет 3 млрд т в год.

При грамотном развитии орошения необходимо учитывать вновь возникающие потоки растворенных веществ. Это делается на основе анализа уравнений водно-солевого баланса, современного и проектируемого. С этой точки зрения, каждая территория уникальна, и перспективное планирование водно-

солевого баланса требует междисциплинарных знаний, а управление большими орошаемыми территориями должно быть фактически как бы сочетанием науки и практического опыта.

Развитие орошения, особенно в тропических странах, обычно сопровождается рядом социальных последствий. Одно из наиболее важных – рост болезней, связанных с переносчиками, таких как малярия, шистосоматоз или онкоцеркоз. Другие последствия – это ухудшение качества питьевой воды и заболачивание (подтопление) населенных пунктов вследствие неэффективного управления орошаемыми массивами.

Геоэкологические проблемы орошения указывают на необходимость учета полной стоимости ирригации, которая бы включала не только затраты на строительство и эксплуатацию оросительных систем, но и стоимость ухудшения состояния окружающей среды, затраты на решение экологических вопросов и социально-экономических проблем. Такая полная стоимость, несмотря на очевидные трудности подобных расчетов, помогла бы оценивать действительную эффективность проектов оросительных систем. Таким образом, орошение будет рассматриваться не как привлекательный и недорогой способ увеличения производства продуктов сельского хозяйства (что неверно), а, как и в случае с сельскохозяйственными химикалиями, как обоюдоострый меч, с которым надо обращаться с осторожностью, потому что он может принести как добро, так и зло.

## VII.5. Геоэкологическая устойчивость сельского хозяйства

Анализ антропогенных факторов изменения состояния почв и использования земель мира говорит о том, что педосфера как основа живого вещества Земли, как критическое звено в глобальных биогеохимических циклах, как основной источник продовольствия для быстро растущего населения мира находится под угрозой. Деградация педосферы – одна из самых серьезных, долгосрочных геоэкологических проблем мира, потому что нигде более разрушение систем жизнеобеспечения Земли не зашло так далеко. Имеются более видимые и более впечатляющие общемировые проблемы, встречаются очень острые локальные проблемы, и они привлекают внимание. Но деградация педосферы все еще не расценивается так, как она того заслуживает.

Главная область беспокойства – сельское хозяйство, где возможность временно поправить ситуацию посредством

внесения удобрений и пестицидов, введение искусственного полива или же использование новых машин могут временно отложить или скрыть наступающий кризис. С одной стороны, технологические вложения, лишь временно замещающие естественные факторы плодородия почв, приносят с собой ряд геоэкологических проблем, обсуждавшихся выше. С другой стороны, сами эти технологические вложения есть продукт экологически неблагополучной промышленности или энергетики. В результате сельское хозяйство, играющее столь большую роль в трансформации экосферы, экологически весьма неустойчиво.

Тревожное состояние ресурсной базы сельского хозяйства можно видеть в большинстве стран мира, от самых богатых и развитых до наиболее обнищавших. Казалось бы, можно полагать, что сельское хозяйство США – это блестящая демонстрация того, что может быть достигнуто при весьма благоприятных природных условиях, умелых, трудолюбивых и предприимчивых фермерах, значительных вложениях со стороны науки и техники в виде постоянно совершенствующихся машин, химикалиев, семян и пр. и благоприятной ситуации на мировом рынке сельскохозяйственных продуктов. И действительно, успехи весьма впечатляющие. Но нужно также помнить, что успехи американского сельского хозяйства идут во многом за счет потерь почвенных ресурсов, то есть вследствие его экологической неустойчивости.

Известно, что половина толщины почвенного слоя штата Айова исчезла за последние 150 лет. Говорят, что один мешок произведенного зерна кукурузы в этом штате уносит вследствие эрозии два мешка почвы. Поэтому достижения в земледелии Айовы все более основываются на технологии и все менее на естественном плодородии почв. Но если столь значительная степень деградации характерна для штата и страны, располагающих высококлассной Службой охраны почв, то что говорить о большинстве стран? Выше приводился пример Индонезии, где весь прирост продукции сельского хозяйства происходит из-за потери плодородия почв, и это не самый худший пример. Об антропогенной деградации почв России и бывшего СССР уже говорилось. Четыре самые крупные сельскохозяйственные страны мира, США, Китай, Индия и бывший СССР, используют несколько меньше половины пахотных земель мира, но потери от эрозии и засоления почв превышают 50 % общемировых потерь.

Геоэкологическая неустойчивость агроэкосистем отмечается на всех иерархических уровнях. Существует очень много примеров деградации почв на уровне поля вследствие эрозии,

засоления, загрязнения, уплотнения почв. На уровне водосбора проявляются в основном проблемы химического характера, такие как увеличивающийся транспорт растворенных солей реками или рост концентрации нитратов в источниках водоснабжения. На глобальном уровне нарушения в основном в социально-экономической сфере, но природные процессы также испытывают неблагоприятные воздействия. Например, животноводство Нидерландов в значительной степени зависит от производства корнеплодов (ямса, маниоки и пр.) в странах юго-восточной Азии, таких как Индонезия или Таиланд. В результате усиливается разрушение ресурсной базы в странах – производителях маниоки вследствие, например, эрозии почв и возрастает загрязнение воды и почвы в Нидерландах вследствие избытка навоза, превышающего естественную способность его переработки на голландской территории.

Несмотря на продолжающееся ухудшение ресурсной базы сельского хозяйства, растущее население мира должно быть обеспечено питанием. Необходим переход к экологически устойчивому сельскому хозяйству. Стратегия перехода весьма сложна и требует очень больших усилий даже для ее разработки, не говоря уже о выполнении. В сложной системе, какой является сельское хозяйство, элементы стратегии могут быть весьма далеки от состояния почв, но могут привести к желаемым результатам. К ним относятся эффективное управление численностью населения, оптимизация качества питания взамен максимизации объема производства, устранение или снижение государственных субсидий сельскому хозяйству.

Наряду с социально-экономическими элементами стратегии перехода к экологически устойчивому сельскому хозяйству существуют экологически благоприятные методы ведения хозяйства. Они основаны на минимизации посторонних для природы агротехнических приемов, таких как применение пестицидов или минеральных удобрений. Это так называемое органическое земледелие. Его также называют биологическим, или экологическим (organic, biological, ecological farming). В среднем такой метод ведения хозяйства приносит меньшие урожаи, но их продукты отличаются высокими питательными качествами. Вследствие более высоких цен на такие продукты органическое земледелие может приносить не меньше дохода, чем современное высокотехнологичное сельское хозяйство.

Однако доля площади, обрабатываемой с применением органического земледелия, не превышает нескольких процентов даже в передовых странах, но отмечается определенная, хотя и слабая, тенденция к росту. В качестве переходной, или

компромиссной, стратегии можно рассчитывать на снижение количества вносимых химических веществ (удобрений и пестицидов), более эффективное их применения, более эффективное управление оросительными системами, разумное ограничение в строительстве новых оросительных систем, применение менее тяжелых машин на более короткое время и пр.

Мы уже приводили пример Нидерландов, где за 10 лет (1983–1993 гг.) уровень применения минеральных удобрений сократился на 47 %, оставаясь при этом все же очень высоким (560 кг/га). При высоком уровне применения удобрений растения слабо реагируют на сверхвысокие дозы, и потому экономичнее снизить интенсивность применения удобрений, получив в то же время несколько более низкий урожай. Меньшая масса применяемых удобрений приводит также к снижению уровня загрязнения окружающей среды (воды и почвы). От этой стратегии еще очень далеко до органического земледелия, но тенденция эта правильная, и она характерна для большинства развитых стран.

Человечество достигло многого в производстве продуктов питания. Но цена была столь высока, что пришлось занимать ресурсы у внуков. Больше занимать нельзя. Более того, пришло время отдавать, и единственный путь к этому – общемировая трансформация сельского хозяйства в духе концепции устойчивого развития.

# VIII. Литосфера. Влияние деятельности человека

## VIII.1. Строение Земли и литосферы [11]

Основная по массе, твердая часть планеты Земля состоит из ядра, мантии и земной коры. В свою очередь, ядро разделяется на внутреннее и внешнее. Внутреннее ядро имеет радиус 1250 км, объем около 0,7 % и массу около 1,2 % всей Земли. Предполагается, что оно является твердым телом, близким к состоянию плавления. Внешний слой ядра объемом 15,2 % и массой 29,8 % всей Земли располагается на глубинах 2900–5000 км. Считается, что он находится в расплавленно-жидком состоянии.

Мантия располагается на глубинах менее 2900 км. Она делится на три слоя: нижнюю, среднюю и верхнюю. В верхней мантии, на глубинах порядка 60-250 км, преобладают базальты, находящиеся в состоянии расплава или близком к этому. В этом слое вязкость вещества и его прочность на два-три порядка величины меньше, чем вязкость и прочность вышележащего жесткого слоя. Слой пониженной вязкости называется астеносферой.

Вышележащий жесткий слой, ограничивающий сверху твердую часть Земли, – это земная кора. Средняя плотность вещества коры – 2,8 г/см$^3$. Ее масса составляет 0,8 % массы всей Земли. Средняя толщина земной коры около 30 км с колебаниями от 4–6 км под срединными океаническими хребтами и некоторыми абиссальными впадинами до 55–70 км под молодыми складчатыми горами.

В земной коре сверху вниз обособляются три слоя: осадочный, гранитный и базальтовый. В верхнем слое преобладают глины, глинистые сланцы, песчаные, карбонатные и вулканогенные породы. Толщина осадочного слоя изменяется от 20–25 км в глубоких впадинах до практически полного его отсутствия на кристаллических щитах. Средний слой земной коры состоит из пород, близких по своим свойствам к граниту (граниты, гнейсы, гранодиориты, диориты, кристаллические сланцы, амфиболиты). Он отсутствует под океанами, а на континентах его мощность достигает нескольких десятков километров. Базальтовый слой сложен кристаллическими породами основного состава, более плотными по сравнению с гранитным слоем. Под океанами его мощность порядка 2–7 км, а

под континентами его толщина в пределах 15–40 км.

Строение земной коры весьма разнообразно, но выделяют два основных типа коры: континентальный и океанический. В типичном разрезе континентальной коры сверху лежат осадочные породы средней мощностью 3 км и плотностью 2,5 г/см$^3$. Глубже следует гранитно-метаморфический слой средней мощностью 17 км и плотностью 2,6–2,8 г/см$^3$. Под ним располагается базальтовый слой средней мощностью 15 км и плотностью 2,9–3,3 г/см$^3$. В типичном разрезе океанической коры средняя мощность рыхлых отложений составляет 0,7 км. Они лежат непосредственно на базальтах.

Земная кора и прилегающая к ней часть верхней мантии образуют литосферу. Непосредственно под литосферой располагается астеносфера. В литосфере находятся очаги большинства землетрясений, причем преимущественно в верхних 30 км.

Самые верхние горизонты литосферы находятся в совместном и взаимосвязанном взаимодействии с другими геосферами. В результате такого взаимодействия образуется кора выветривания – совместный продукт действия воды, воздуха и живых существ. На корах выветривания развиваются почвы. Мощность кор выветривания и их строение в целом подчиняются закону географической зональности. В нивальном и аридном поясах мощность кор выветривания не достигает обычно и 10 м, при относительно простой ее структуре, в то время как в экваториальном поясе коры выветривания весьма сложно построены, история их развития продолжительна, а мощность может превышать 60 м.

Верхние горизонты литосферы обычно не контактируют непосредственно с атмосферой и гидросферой. На суше литосфера покрыта чехлом почв (педосфера), растительности (биосфера) или же, в особенно холодных условиях, – льда и снега (криосфера). Лишь в пустынях литосфера почти непосредственно соприкасается с атмосферой, да и то сквозь кору выветривания. В то же время сквозь почву и кору выветривания происходит активный газообмен между атмосферой и литосферой. В еще большей степени происходит взаимодействие между литосферой и природными водами, таким образом, что подземные воды – это часть как гидросферы, так и литосферы.

Итак, самые верхние горизонты литосферы активно вовлечены во взаимодействие с другими сферами. Это взаимодействие достигает максимума интенсивности у земной поверхности и уменьшается как книзу, так и кверху. Оно еще более усиливается по мере возрастания роли человека.

Нижняя граница экосферы размыта и постепенно с глубиной сходит на нет. Активная деятельность человека (карьеры, шахты, подземные хранилища, объекты гражданского и гидротехнического строительства, свалки и пр.) охватывает в литосфере преимущественно верхние несколько десятков метров, в целом плавно уменьшаясь с глубиной, хотя отдельные особо глубокие карьеры, шахты и скважины выделяются из общей картины.

Один из самых глубоких в мире открытых карьеров – разработки медной руды Бингем Кэньон в штате Юта в США. Глубина карьера – 774 м, площадь – 7,2 км$^2$, а объем удаленного из карьера грунта – 3,4 млрд т. В России глубина карьера на Коркинском разрезе на Урале составляет 520 м. Значительны по глубине и площади многие другие карьеры и разрезы как в нашей стране, так и в мире, образующие горно-промышленные территории, такие как Курская магнитная аномалия (КМА), Канско-Ачинский топливно-энергетический комплекс (КАТЭК) и др.

Отдельные шахты проникают до глубины 4 км. Буровые скважины также достигают глубин в несколько тысяч метров, а самая глубокая в мире, на Кольском полуострове, запроектирована на 15 км в глубину и превысила отметку 12 км.

Многочисленные и обширные карьеры, в которых добываются уголь, железная руда, руды других металлов, строительные материалы и другие полезные ископаемые широко распространены на всех обитаемых континентах. Всего в мире за год из поверхностного слоя литосферы извлекается и перерабатывается более 1000 млрд т минерального сырья. Добывается около 400 видов полезных ископаемых, обеспечивающих около 90 % сырья для тяжелой промышленности.

Около 98 % добываемых в литосфере материалов уходит в отвалы и лишь не более 2 % утилизируется человеком, да и то на относительно краткое время пользования данным продуктом. Иными словами, производится колоссальная антропогенная работа по перемещению материала в верхней части литосферы. Это в сильной степени затрагивает как экосферу в целом, так и отдельные ее части.

Вопросы антропогенного преобразования верхних этажей литосферы относятся к категории универсальных. Они встречаются во многих местах Земли и в совокупности представляют собой весьма распространенную проблему экологической геологии.

По всей видимости, самая серьезная глобальная проблема,

касающаяся литосферы, – антропогенная интенсификация экзогенной части большого «геологического» цикла, или цикла эрозии-седиментации.

## VIII.2. Большой круговорот вещества и роль в нем человека

Взаимодействие литосферы с атмосферой, гидросферой и биосферой происходит в рамках глобального круговорота (цикла) вещества. Продукты коры выветривания, разрушающейся в результате действия комплекса природных факторов, перемещаются под действием силы тяжести, преимущественно при участии воды, а также ветра, ледников и других агентов. На поверхности Земли, в каждой ее точке, взаимодействуют процессы накопления или расходования вещества. Эти процессы называются экзогенными.

С другой стороны, процессы в недрах Земли (эндогенные процессы) приводят, в конечном итоге, к вертикальным и (или) горизонтальным тектоническим движениям и к проявлениям вулканической деятельности, сопровождающейся выносом на дневную поверхность и в верхние горизонты литосферы большого количества твердого материала.

Результирующая в каждой точке, то есть алгебраическая сумма величин опускания или поднятия отметки поверхности Земли, есть следствие взаимодействия экзогенных и эндогенных процессов, формирующих рельеф Земли.

В областях преимущественного накопления твердого материала осадочные и вулканогенные отложения постепенно погружаются. По мере погружения в течение геологически длительного времени они подвергаются воздействию весьма значительного и увеличивающегося с глубиной давления и температуры, а также глубинных растворов и, таким образом, метаморфизуются. Часть магмы, образующейся в результате этих процессов, прорывается ближе к земной поверхности и преобразуется в кристаллические породы. Вулканогенные породы отлагаются в виде глубинных интрузий и лав, излившихся на дневную поверхность. В областях горообразования вертикальные тектонические движения воздымают кристаллические и метаморфизованные породы на большие высоты, тем самым обеспечивая потенциальную возможность их денудации, разрушения и сноса. В самой верхней части земной коры (зоне гипергенеза) кристаллические породы разрушаются, снова формируя коры выветривания и тем самым замыкая цикл. Этот круговорот отличается весьма малыми, «геологическими»

скоростями процессов с характерными временами в миллионы и десятки миллионов лет.

Большой цикл вещества (иногда называемый большим геологическим круговоротом) – один из важнейших процессов Земли как системы, вовлекающих в нее глубинные сферы нашей планеты. Однако лишь часть геологического цикла, а именно преимущественно экзогенные процессы, относится к полю интересов геоэкологии. Они развиваются преимущественно у дневной поверхности и ограничены десятками или первыми сотнями метров в глубину, то есть теми слоями, куда достигает деятельность человека и ее последствия.

По-видимому, человек пока в малой степени влияет на эндогенные процессы, хотя и имеются отдельные признаки или предположения о таком влиянии. Наиболее известны факты усиления сейсмической активности после строительства крупных водохранилищ. В то же время многие экзогенные процессы, преимущественно процессы денудации и сноса, находятся под сильным влиянием деятельности человека.

Рассмотрим важнейшую, с точки зрения геоэкологии, часть большого цикла вещества, относящуюся к литосфере в пределах суши. Если учитывать основные компоненты уравнения баланса массы всего объема суши, находящейся выше уровня Мирового океана, то оно выглядит, за достаточно длительный интервал времени, следующим образом:

$$ДМ = S + D \pm V + I + A - G - W - B - F \pm K + C.$$

Здесь ДМ – изменение массы всего объема суши; S – сток наносов (взвешенных и влекомых) с суши в океан; D – сток растворенных веществ с суши в океан; V – баланс вещества, уносимого с суши и приносимого на сушу ветром; I – вынос вещества в океан ледниками; A – разрушение (абразия) вещества в прибрежной зоне с выносом его в океан; G – аккумуляция продуктов вулканической деятельности на суше; W – связывание газообразного вещества атмосферы при процессах выветривания; B – биогенная аккумуляция вещества; F – приток вещества на сушу из более глубоких горизонтов литосферы в виде растворов и газов; K – приток вещества из космоса и потери его в космическое пространство; C – сжигание минерального топлива человеком.

В этом уравнении рассматривается весь массив суши в целом, находящийся над базисом эрозии, за который принимается средняя поверхность океана. Вертикальные тектонические движения в данном уравнении не учитываются, так же как и изменения уровня океана. Передвижение масс твердого

материала, в основном гравитационное, происходит внутри массива суши, не влияя на окончательный результат. Гравитационные перемещения материала в результате процессов в пограничной (экотонной) зоне суша-океан учитываются составляющей A.

Сток наносов рек мира в океан (S) оценивался многими авторами, и крайние оценки различаются в 3–4 раза. Наиболее вероятная величина находится в пределах 18–22 млрд т в год. Крупнейший английский специалист по речным наносам Д. Уоллинг считает, что эта величина равна 20 млрд т в год. Реками выносятся в океан в основном взвешенные наносы, так что доля влекомых наносов в общем твердом стоке рек составляет не более нескольких процентов.

Сток растворенных веществ реками мира в океан (D) оценивается в 3 млрд т в год. (В связи с невысокой точностью, величины компонентов уравнения баланса вещества суши даются с округлением до 1 млрд т в год). Баланс эоловой (ветровой) денудации-аккумуляции (V) оценивается в 2–4 млрд т в год выноса материала с континентов на поверхность океана. Примем в среднем величину 3 млрд т. Величина выноса твердого материала в океан в результате ледниковой денудации (I) оценивается в 2 млрд т в год. Абразия морских берегов с выносом материала в океан (A) меньше рассмотренных выше составляющих и, по весьма приближенной оценке, не превышает 1 млрд т в год.

Вынос лавы и пепла на поверхность суши при извержениях вулканов (VI) составляет приблизительно 1–2 млрд т в год. Породы, сформировавшиеся в недрах Земли, достигают в процессе большого круговорота вещества верхних слоев литосферы, где они подвергаются процессу выветривания, вступая в химические реакции с кислородом, углекислым газом и водой. В результате масса вновь формирующихся пород (W) увеличивается примерно на 1 млрд т в год.

При образовании карбонатных осадочных пород из атмосферы поглощается углекислый газ и, таким образом, масса осадочных пород увеличивается (B). Среднее содержание соединений углерода в осадочных породах Земли составляет 0,2–0,95 % по весу. Величина биогенной аккумуляции в массиве всей суши мира порядка 1 млрд т в год.

Современная интенсивность поступления вещества из космоса и его потери (K) пренебрежимо малы: на 3–4 порядка меньше интенсивности обсуждавшихся выше процессов преобразования земного вещества, и потому в дальнейших расчетах не учитываются.

Процессы и величины сжигания топлива человеком (C) подробно обсуждались в разделе, посвященном климату и его изменениям. Напомним, что в атмосферу поступает (а литосферу, следовательно, покидает) вследствие сжигания горючих ископаемых $5{,}5 \pm 0{,}5$ млрд т углерода в год.

Результат анализа компонентов баланса минерального вещества для массива суши мира приводится в табл. 15.

*Таблица 15*

**Баланс минерального вещества суши мира, млрд т в год**

| *Расход* | |
|---|---|
| Твердый сток (S) | 20 |
| Сток растворенных веществ (D) | 3 |
| Вынос ветром (V) | 3 |
| Вынос с ледниками (I) | 2 |
| Вынос за счет абразии морских берегов (A) | 1 |
| Сжигание горючих минеральных ископаемых (C) | 6 |
| Всего | 35 |

:

| *Приход* | |
|---|---|
| Накопление продуктов вулканической деятельности (G) | 1—2 |
| Увеличение массы суши при процессах выветривания (W) | 1 |
| Биогенная аккумуляция (B) | 1 |
| Всего | 4 |

Как видим, денудация и снос с суши мира значительно преобладает над аккумуляцией. Основную роль в сносе вещества играют текучие воды, переносящие речные наносы и растворенные вещества. В сумме они составляют около 2/3 всего выноса материала.

Очевидно значительную роль в преобразовании наземной части верхних горизонтов литосферы играет деятельность человека. В разделе, посвященном педосфере и земельным ресурсам, мы уже отмечали, что эрозия и сток наносов заметно увеличились вследствие усиления антропогенных факторов. Изучение осадков в центральной части Черного моря (Дегенс, Германия) показало, что сток наносов в море увеличился в течение последних 2000 лет втрое. Эта ситуация характерна для многих речных бассейнов мира со значительной антропогенной нагрузкой. Сток растворенных веществ также увеличился. Наконец, новый, весьма заметный и быстро увеличивающийся, полностью антропогенный компонент баланса литосферы – сжигание минерального топлива. Таким образом, оказывается,

что человек играет ведущую роль в денудации и сносе твердого материала с суши, причем эта роль может быть оценена в 60 % от общей величины денудации.

## VIII.3. Антропогенные воздействия на экзогенные процессы

*Эрозия и седиментация* играют выдающуюся роль в наземном, экзогенном звене большого (геологического) цикла вещества. В разделе, посвященном педосфере, уже говорилось о решающем влиянии сельского хозяйства на увеличение эрозии почв. Оценки автора показали, что вследствие распашки земель эрозия почвы увеличилась не менее чем в пять раз по сравнению с естественным смывом почвы. Если все пригодные к земледелию почвы будут распаханы, то почвенная эрозия еще увеличится, но всего лишь в 1,7 раза по сравнению с настоящим временем. Этот вывод указывает также на то, что эрозия почв – это в большей степени проблема современности, чем будущего.

Поскольку основные резервы земель под пашню располагаются в пределах экваториального, субэкваториального и тропического поясов, именно там можно ожидать дальнейшего увеличения эрозии, если эти земли действительно будут когда-либо распаханы. О проблемах, связанных с дальнейшим освоением земель под сельское хозяйство в тропиках, мы уже говорили выше.

Наибольшее увеличение эрозии почв вследствие распашки земель отмечается в районах достаточного увлажнения умеренного пояса, где она выросла более чем в 30 раз по сравнению с естественным процессом эрозии. В этих районах почти не осталось резервов пахотных земель, и потому это проблема настоящего времени, причем весьма острая. Переход наименее продуктивной пашни в залежные земли, характерный для некоторых развитых стран, приводит к снижению эрозии почв и стока наносов.

Анализ данных по *стоку наносов* 3600 рек мира, выполненный А. П. Дедковым и В. Т. Мозжериным, указывает на значительное антропогенное усиление стока наносов (табл. 16).

*Таблица 16*

**Увеличение стока наносов рек мира в связи с деятельностью человека в бассейне, число раз (по А. П. Дедкову и В. Т. Мозжерину, 1984)**

| | Малые бассейны (<5000 кв. км) | Большие бассейны (>5000 кв. км) | Все бассейны |
|---|---|---|---|
| Равнинные реки (N = 1854) | 13,0 | 8,1 | 10,0 |
| Горные реки (N = 1811) | 2,2 | 3,8 | 2,8 |

Водохранилища мира, заполняемые наносами рек, теряют ежегодно около 1 % своего объема, или примерно 50 куб. км в год.

С другой стороны, сток наносов рек в океан снижается благодаря поглощению наносов водохранилищами. Например, Асуанское водохранилище поглощает около 100–130 млн т наносов в год, и в нижний бьеф (то есть ниже плотины) поступает менее 2 % наносов, поступающих в водохранилище. Пониженное содержание наносов в воде Нила ниже Асуанской плотины приводит к усиленной русловой эрозии до выработки рекой нового профиля в нижнем бьефе. За первые восемь лет существования плотины русло Нила врезалось на 40–80 см. Вследствие пониженного стока наносов, а также некоторого повышения уровня океана за последнее столетие, баланс вещества дельты Нила отрицательный. В результате внешний край дельты отступает и теряются драгоценные и столь необходимые Египту сельскохозяйственные земли. С начала этого столетия мыс Росетта и мыс Дамиетта, расположенные на внешнем краю дельты, отступили соответственно на 2,5 и 3,0 км.

Благодаря действиям по охране почв, переводу части пашни в залежи и строительству водохранилищ, сток наносов р. Миссисипи в устье сократился за последние 50 лет вдвое, с соответствующим сокращением дельты. По тем же причинам сток наносов р. Колорадо с 1935 г. уменьшился со 150 млн т в год до 100 млн т. С другой стороны, сток наносов р. Хуанхэ в Желтое море продолжает увеличиваться, несмотря на новые водохранилища.

По-видимому, общая мировая картина антропогенного изменения стока наносов рек в океан неоднозначна. Похоже, что в некоторых регионах мира рост стока наносов вследствие увеличения антропогенной эрозии почв компенсируется аккумуляцией наносов в водохранилищах, тогда как в других регионах сток наносов продолжает увеличиваться. Надо также иметь в виду, что увеличение эрозии почв и транспорта материала внутри бассейнов рек может не полностью отражаться в росте стока наносов рек из-за значительного переотложения и накопления рыхлого материала в пределах бассейна. В целом,

вероятно, можно говорить о некотором увеличении стока наносов рек в Мировой океан и о необходимости дальнейших исследований.

Увеличивающаяся доля сжигания органических веществ в балансе наземной части литосферы, рост стока растворенных веществ и увеличение стока наносов внутри континентов предопределяют усиление взаимосвязи между литосферой (ее верхними этажами) и другими геосферами.

Глобальные антропогенные воздействия в литосфере проявляются также, наряду с процессами эрозии, в усилении интенсивности и повторяемости неблагоприятных экзогенных процессов, таких как оседание и провалы на поверхности земли, оползни, оплывины и сели.

*Оседания и провалы грунта.* Разумеется, не все проседания вызваны действиями человека. Достаточно вспомнить карстовые и суффозионные воронки естественного происхождения. Однако действия человека, такие как откачка воды, нефти или других жидкостей, подземные выработки, уплотнение осадочных пород, протаивание мерзлых грунтов и многие другие делают эти явления чаще встречающимися и более интенсивными. Известны случаи провалов крупных сооружений, например жилых домов, сопровождавшихся человеческими жертвами.

Многолетние откачки воды для нужд местных жителей непосредственно под населенными пунктами приводят к постепенному, но зачастую значительному проседанию поверхности земли в городах. Откачки обычно не компенсируются притоком воды с поверхности в результате ее использования и протечками из водоразводящих систем. В результате в крупных городах, стоящих на осадочных породах, таких как Мехико, Бангкок, Токио и многих других, просадки распространяются на большие площади и достигают 8-10 м, а в отдельных случаях и больше. Москва также подвержена значительной опасности крупных осадок грунтов в результате неблагоприятных инженерно-геологических условий, осложняемых антропогенной деятельностью.

Города часто расположены на приустьевых равнинах, едва возвышающихся на уровнем моря, и проседание грунта на несколько метров вызывает необходимость защиты городских кварталов от затопления.

Оседание поверхности земли начинается с локальных очагов, но постепенно охватывает площади до 10–15 тыс. кв. км при понижении поверхности со скоростью до 20 см/год, достигая глубины 7–9 м.

Оседания грунта очень разнообразны как по причинам, так и

по характеру их проявления. Всемирный ущерб может быть оценен миллиардами долларов ежегодно. Среди результатов – разрушенные плотины, испорченные железные и автомобильные дороги, ставшие ненадежными мосты, потрескавшиеся здания, деформированные оросительные каналы и т. п.

*Обвалы и оползни* – другая категория неблагоприятных явлений экзогенного происхождения. Устойчивость склонов зависит не только от конкретных инженерно-геологических и геоморфологических условий места, но также и от состояния природной среды большой территории, включающей проблемный участок. Соответственно, и методы предотвращения неприятной проблемы должны быть комбинацией локальных, конкретных решений в сочетании с более широкими, ландшафтоведческими подходами.

*Сели* требуют для своего возникновения в селевом бассейне комбинаций трех основных условий: достаточного количества рыхлого материала и воды при значительном уклоне. Частота и размеры селей в некоторой степени зависят от деятельности человека. Основной канал антропогенного воздействия – накопление рыхлого материала, доступного действию воды. Факторами усиления селеобразования может быть вырубка лесов, подрезка склонов дорогой, трубопроводом или другими инженерными сооружениями.

Стихийно-разрушительные процессы характерны для горных территорий. Они усиливаются в результате роста взаимодействия человека и природы. Например, во многих горных районах Средней Азии (Памиро-Алай, Тянь-Шань) частота разрушительных селей и снежных лавин увеличилась. Это связано не только с природными факторами, но и с ростом численности населения при ограниченности территорий, пригодных для жизни, что заставляет людей селиться на границах потенциально селеопасных зон. Таким образом, действует старая истина: «Опасность увеличивается, когда в горы приходит человек».

# IX. Биосфера и ландшафты Земли: влияние деятельности человека

## IX.1. Основные особенности биосферы и ее роль в экосфере [12]

В научной литературе встречается разнозначное толкование понятий, обозначаемых словом «биосфера». Согласно одному, более широкому, биосфера – это область существования живого вещества. В этом смысле биосферу понимал В. И. Вернадский и в этом же смысле оно часто встречается в литературе, в особенности популярной. Понятие «биосфера» во многом совпадает с понятием или географической оболочки, или экосферы, и потому в таком смысле в этой книге не используется. В более узком смысле биосфера – одна из геосфер Земли. Это область распространения живого вещества, и именно в таком смысле мы рассматриваем биосферу.

Биосфера сконцентрирована в основном в виде относительно тонкой пленки на поверхности суши и преимущественно (но не исключительно) в верхних слоях океана. Она не может функционировать без тесного взаимодействия с атмосферой, гидросферой и литосферой, а педосфера без живых организмов просто не существовала бы.

Наличие биосферы отличает Землю от других планет Солнечной системы. Особо следует подчеркнуть, что именно биота, то есть совокупность живых организмов мира, создала экосферу в том виде, как она есть (или, точнее, какой она была до начала активной деятельности человека), и именно биота играет важнейшую роль в стабилизации экосферы. Кислородная атмосфера, глобальный круговорот воды и ключевая роль углерода и его соединений связаны с деятельностью биоты и характерны только для Земли. Биота играет значительную, если не определяющую, роль во всех глобальных биогеохимических циклах. В основном благодаря биоте обеспечивается гомеостазис экосферы, то есть способность системы поддерживать ее основные параметры, несмотря на внешние воздействия, как естественные, так и, в возрастающей степени, антропогенные.

Процесс фотосинтеза, то есть создания живого вещества из неживого, обеспечивает устойчивое образование важнейшего из природных ресурсов – первичной биологической продукции.

## IX.2. Биотическое управление экосферой и ponü

**äеятелiности человека**

Величина первичной биологической продукции – это общее количество органического вещества, создаваемого в ходе фотосинтеза за единицу времени (обычно за год) на определенной площади. Как правило, в литературе рассматривается «чистая» первичная биологическая продуктивность, представляющая общую биопродуктивность за вычетом расхода органического вещества на дыхание растений.

Величины биопродуктивности выражаются обычно или в массе органического вещества (в сухом состоянии), или в массе содержащегося в нем углерода. Средний коэффициент пересчета от массы органического вещества к массе углерода принимается равным 0,45, а чтобы получить величину массы органического вещества из массы углерода необходимо последнее умножить на 2,2. Удельные величины биологической продуктивности выражаются обычно в г/кв. м или в т/кв. км за год, а в российской литературе также и в центнерах с гектара за год.

Вследствие сложностей расчетов или полевых измерений биомассы и ее прироста, величины биопродуктивности, полученные различными исследователями, заметно различаются. Для суши мира она составляет около 130 млрд т органического вещества в год, или около 60 млрд т углерода. Для Мирового океана эти величины соответственно – 90 млрд т и 40 млрд т. *Общемировая величина «чистой» первичной биологической продуктивности порядка 220 млрд т за год в органическом веществе, или приблизительно 100 млрд т углерода.* Средняя для мира удельная биологическая продуктивность составляет приблизительно 430 г/кв. м, или 43 ц/га. Средняя для всей свободной от ледников суши удельная продуктивность органического вещества равна около 1000 г/кв. м, или 100 ц/га. Для океана эта величина равна всего лишь 250 г/кв. м, или 25 ц/га.

Фитомасса составляет подавляющую часть биомассы суши, а масса лесов представляет 87 % фитомассы. Подавляющая часть массы живого вещества находится на суше, но вследствие большего, чем на суше, количества беспозвоночных и микроорганизмов, отличающихся более высокой скоростью метаболизма, океан производит за год лишь вдвое меньше первичной биологической продукции, чем суша.

Общая масса живого вещества Земли составляет величину порядка 1300 млрд тонн, или 590 млрд т углерода. Общая масса неживого органического вещества в биосфере оценивается в 3200 млрд тонн, что приблизительно соответствует 1300 млрд т

углерода (Alcamo, 1994).

Первичная биологическая продукция является основой жизнедеятельности большинства живых существ. Она расходуется на питание на всех трофических уровнях экологической пирамиды. В предшествующих главах мы уже говорили, что баланс углерода как для экосферы в целом, так и для первичных (незатронутых человеком) экосистем замыкается с весьма высокой степенью точности. Можно сказать, что в масштабе времени до 1000 лет для первичных экосистем существует квазистационар-ный баланс источников и стоков.

Результирующая баланса за год в этом масштабе времени составляет весьма малую величину, как правило, всего лишь порядка 0,1 % от величины биопродуктивности, но именно она предопределяет естественную эволюцию экосистем. *Остаточный член баланса органического вещества (или баланса углерода) называется чистой экосистемной продуктивностью.* Если экосистемная продуктивность положительна, то это указывает на накопление углерода в экосистеме, и наоборот.

Вследствие деятельности человека величина экосистемной продуктивности углерода (то есть степени разомкнутости его баланса в экосистеме) возрастает и начинает оказывать решающее влияние на глобальные геоэкологические процессы. В разделе, посвященном факторам парникового эффекта, например, указывалось, что вследствие антропогенного преобразования экосистем, главным образом в тропической и экваториальной зонах, в атмосферу из ландшафтов Земли (то есть из биосферы) выносится 1,6 ± 1,0 млрд т углерода в год, что составляет уже 3 % первичной продукции, а это говорит о высокой степени разомкнутости баланса углерода и органического вещества экосферы.

Одна из моделей современного цикла углерода для суши показала, что при глобальной чистой первичной продукции экосистем суши, равной 60,6 млрд т углерода в год, экосистемная продукция составила 2,4 млрд т углерода, или 4 % первичной продукции. На 2050 г. ожидается, что чистая первичная продукция составит 82,5 млрд т в год при экосистемной продукции, равной 8,1 млрд т. Таким образом, степень разомкнутости увеличится до 10 %, что указывает на прогрессирующее неблагополучие экосферы, если только стратегия человечества в отношении проблем геоэкологии не будет коренным образом изменена.

*Процесс фотосинтеза – основа жизнеобеспечения на Земле, а его результат – биологическая продукция – наиважнейший возобновимый ресурс. Эти 220 млрд тонн органического вещества*

*в год – главнейший возобновимый ресурс Земли, обеспечивающий сельское хозяйство, лесоводство, рыбное хозяйство и другие сектора экономики, связанные с использованием возобновимых природных ресурсов.*

*Еще более важна роль биологической продукции и биоты в целом в обеспечении устойчивого функционирования экосферы.* Об этой наиважнейшей стабилизирующей роли биоты часто забывают. Синтез и соответствующая ему деструкция органического вещества лежат в основе глобального биогеохимического цикла углерода, а в локальном плане – в основе устойчивости экосистем. При этом, согласно В. Г. Горшкову[13], на глобальном уровне синтез и деструкция балансируются с точностью порядка $10^{-4}$ для промежутков времени продолжительностью порядка 10 000 лет.

Антропогенное нарушение глобальных и локальных циклов углерода связано со многими факторами. Суммарная для мира первичная биологическая продуктивность неизмененных человеком ландшафтов («потенциальных ландшафтов») представляет, по-видимому, верхний предел глобальной естественной биопродуктивности. Антропогенные воздействия, преобразующие ландшафты, приводят, как правило, к снижению биопродуктивности. Например, земледелие в мире использует 15 млн кв. км земли, на которых выращивается примерно 2500 млн т сельскохозяйственных продуктов (в сухом весе). Таким образом, средняя урожайность составляет 17 ц/га, в то время как средняя биологическая продуктивность суши равна 43 ц/га.

Значительна роль биоты в глобальном гидрологическом цикле. Поскольку живое вещество приблизительно на 90 % состоит из воды, то ежегодно биота связывает во вновь фотосинтезированном органическом веществе 60 млрд т углерода и порядка 500 куб. км воды. В процессе синтеза органического вещества растительность пропускает сквозь себя на два порядка больше воды, чем то количество, которое в конце концов оказалось связанным в органическом веществе. Эта вода забирается растениями из почвенной влаги, участвует в функционировании растений, а затем транспирирует в атмосферу. Таким путем в биологическом звене глобального круговорота воды (гидрологического цикла) участвует около 30 тыс. куб. км воды в год. Это около 25 % суммарного количества осадков, выпадающих на поверхность суши.

Величина солнечной энергии, используемой для построения органического вещества в процессе фотосинтеза, составляет $133 \times 10^{12}$ ватт. Это в 13 раз больше общемирового потребления

энергии человеком, но всего лишь 0,16 % приходящей к поверхности Земли солнечной радиации. Отношение затрат энергии на синтез биомассы к общему количеству поглощенной солнечной радиации находится в пределах от 0,1 до 1 %, а в среднем порядка 0,5 % (М. И. Будыко). Средняя величина коэффициента использования фотосинтетически активной солнечной радиации (ФАР), приходящей в течение вегетационного периода, растительным покровом территории бывшего СССР составляет примерно 0,8 %, с колебаниями от 0,1 % в пустынях Средней Азии до 1,8–2,0 % на Черноморском побережье Кавказа. Средний для СССР коэффициент использования суммарной солнечной радиации составляет около половины коэффициента использования ФАР, или примерно 0,4 %.

Величины коэффициента использования солнечной радиации для синтеза первичной продуции на первый взгляд кажутся весьма низкими. Некоторые специалисты рассматривают повышение первичной биологической продуктивности как один из важнейших путей решения фундаментальных проблем человечества, таких как его обеспечение продовольствием или энергией. Казалось бы, решить эту задачу можно посредством увеличения доли ассимилируемой солнечной энергии. Однако усилия в этом направлении пока безуспешны, и можно полагать, что природа не случайно установила для себя столь низкий к.п.д., потому что антропогенная разбалансированность этого соотношения может привести к серьезным нарушениям глобального баланса углерода и, следовательно, к нарушениям устойчивости экосферы.

Передача энергии в пределах экологической пирамиды от первичной биологической продукции к более высоким уровням сопровождается значительными потерями энергии. Отношение биомассы организмов к количеству потребляемого ими органического вещества обычно не превышает 10–20 %. При перемещении к более высоким трофическим уровням это приводит к быстрому сокращению биомассы и потребляемой ею энергии. В природных экосистемах с одного трофического уровня экологической пирамиды переходит на другой ее уровень в среднем не более 10 % энергии (и вещества в энергетическом выражении).

Еще более жесткое соотношение обусловливает устойчивость природных систем: эмпирически установлено, что изменение энергетики системы в пределах всего лишь 1 % выводит ее из равновесного (квазистационарного) состояния. Не случайно доля суммарной радиации, используемой для устойчивого процесса

фотосинтеза, составляет только 0,16 % приходящей суммарной солнечной радиации.

В. Г. Горшковым было установлено, что в пределах биосферы биота сохраняет способность контролировать условия окружающей среды, если человек в процессе своей деятельности использует не более 1 % чистой первичной продукции биоты. Остальная часть продукции должна распределяться между видами, выполняющими функции стабилизации окружающей среды. Следовательно, с точки зрения человечества, биота представляет собой механизм, обеспечивающий человека питанием (энергией) с коэффициентом полезного действия 1 %, а 99 % идет на поддержание устойчивости окружающей среды.

Если рассматривать человека как биологический вид, находящийся на вершине экологической пирамиды, то ему, по законам биологической экологии, полагалось бы на питание лишь несколько процентов производимой на суше первичной биологической продукции, то есть порядка 10 млрд тонн в год. Фактически, благодаря использованию пашни, пастбищ и лесов, человек поглощает сельскохозяйственные и лесные продукты общей массой 31 млрд т. Кроме того, вследствие деятельности человека, современная первичная продуктивность меньше исходной на 27 млрд т вследствие: а)деградации естественных ландшафтов и б)превращения естественных экосистем в антропогенные. Общее количество потребляемой и разрушаемой человеком биомассы суши равно 58 млрд т в год, или почти 40 % биологической продукции суши. Эти величины, полученные в 1986 г. П. Витусеком с соавторами (США), стали широко известны в мире среди специалистов как еще один индикатор глобального экологического кризиса. Менее известно, что подобные выводы получены в России еще в 1980 г. В. Г. Горшковым.

Ясно, что потребление первичной биологической продукции человеком превосходит все мыслимые пределы уже сейчас. При дальнейшем росте населения мира его потребности можно будет удовлетворять только за счет потребностей других живых организмов, а это неизбежно, рано или поздно, приведет к катастрофической деградации биосферы и, следовательно, всей системы Земля. В проблемах деградации биосферы есть два наиболее серьезных аспекта: во-первых, как мы только что видели, чрезмерное, не соответствующее установленному природой уровню антропогенное поглощение и разрушение возобновимых биологических ресурсов и, во-вторых, снижение роли биосферы в стабилизации состояния экосферы. Обе проблемы чрезвычайно серьезны, но, вероятно, вторая проблема более важна, потому что она затрагивает основные, глубинные,

системные процессы функционирования экосферы. Можно считать, что величина антропогенной доли поглощения и разрушения первичной биологической продукции суши – важнейший геоэкологический индекс чрезвычайно неблагоприятного, кризисного состояния экосферы.

## IX.3. Современные ландшафты мира

Величина биологической продуктивности каждого участка земной поверхности зависит от соотношения тепла и влаги, поступающих к этому участку. Чем больше величина солнечной энергии, поглощаемой поверхностью земли, или, что то же, радиационного баланса, тем лучше условия для синтеза первичной биологической продукции. Однако это верно только в том случае, если этот участок получает оптимальное количество воды, то есть такое, когда количество осадков и величина испаряемости равны. Если осадков меньше, чем величина испаряемости, то биопродуктивность будет сдерживаться дефицитом влаги, и чем меньше влаги, тем хуже условия для прироста биомассы. А если осадков больше, чем может испариться, то переувлажнение почв также будет подавлять прирост.

Наибольшая величина первичной продуктивности характерна для влажных лесов экваториального пояса (около 4000 т/ кв. км в год). Субтропические леса производят порядка 2000 т/ кв. км, а тайга – 700 т/кв. км. В этом ряду различных типов лесных ландшафтов определяющим фактором является тепло, то есть радиационный баланс.

Если взглянуть на картину распределения ландшафтов с точки зрения убывающего увлажнения, то саванны тропического пояса имеют биопродуктивность порядка 1500 т/кв. км, степи (в целом получающие меньше осадков по сравнению с саваннами) – около 900 т/кв. км, а пустыни – не более 200 т/кв. км.

Таким образом, не только величины тепла и влаги, но и их соотношение предопределяют величину первичной биологической продукции и, в конечном итоге, формирование основных типов растительности. При этом можно видеть, что, например, леса произрастают в условиях достаточного или избыточного увлажнения, но в зависимости от поступающего тепла принимают различный облик. С другой стороны, при сокращении увлажнения растительность становится все более сухолюбивой, так что при одном и том же радиационном балансе, но убывающем количестве осадков, мы наблюдаем направленное чередование типов растительности: от влажного леса к саванне,

затем к степи и, наконец, к пустыне. Таким образом, распределение основных типов растительности не случайно, а подчиняется определенным закономерностям.

Им же подчиняются другие природные явления, такие как основные типы почв и геохимических процессов, особенности климата, водного баланса и режима, многие геоморфологические процессы и т. п. Это так называемый закон географической зональности, выведенный М. И. Будыко и А. А. Григорьевым.

Закон географической зональности позволяет описать не только пространственное распределение основных черт зональных процессов, но и их сочетаний в виде природно-территориальных комплексов, или ландшафтов[14]. Это коренные (потенциальные) ландшафты, то есть такие, какие сейчас существовали бы на Земле, если бы на ней не действовал человек.

Деятельность человека весьма значительно преобразовала потенциальные ландшафты Земли. Значительные массивы земель (в прошлом степи, леса, саванны и пр.) были распаханы. Многие безлесные типы ландшафтов подверглись глубоким преобразованиям под влиянием продолжительного выпаса скота или антропогенных пожаров. Большие площади лесов вырублены, а часть первичных лесов сменилась на вторичные. Саванна преобразована человеком до такой степени, что трудно установить, какой она была до того, как человек начал там выпасать скот, выжигать траву перед сезоном дождей, вырубать деревья и кустарники. Работы по орошению и осушению земель коренным образом преобразовали аридные или переувлажненные территории. Построены города и другие населенные пункты, дороги, промышленные предприятия, появились карьеры и рудничные отвалы, земли с полностью смытой почвой и пр. Этот список антропогенных преобразований еще далеко не полон.

На 20–30 % площади суши человек преобразовал ландшафты практически полностью. На территориях с высокой плотностью населения естественные экосистемы почти не сохранились. Вместо этого их территории на 40–80 % заняты сельскохозяйственными землями, населенными пунктами, дорогами, промышленными сооружениями и прочими результатами деятельности человека. На остальной части встречаются вторичные или специально выращиваемые леса, деградировавшие земли и водохозяйственные системы, находящиеся, как правило, в далеко не идеальном состоянии. При этом внешне такие территории могут выглядеть благополучно (что и наблюдается, например, в Западной Европе или США), но фактически это области дестабилизации экосферы.

В результате некоторые зональные типы ландшафтов

исчезли, другие были трансформированы, так что возникли антропогенные модификации природных ландшафтов. По нашим оценкам (Б. А. Алексеев и Г. Н. Голубев), из 96 зональных типов ландшафтов, выделяемых на равнинах мира, около 40 типов исчезли или были коренным образом преобразованы.

На многих остальных территориях произошли менее заметные изменения, часто невидимые, такие как изменения потоков химических веществ, изменения теплового или водного баланса и многие другие. Всего около 60 % территории в той или иной степени преобразовано человеком.

Территорий, совсем неизмененных человеком, в мире не осталось. Даже в отдаленных от центров экономической деятельности областях, таких как Антарктида или северо-восток нашей страны, выпадения химических веществ из атмосферы изменили, хотя и в малой степени, первоначальное, доантропогенное состояние ландшафтов Земли. Деятельность племен охотников-собирателей, обитающих в слабо измененных ландшафтах, тем не менее также внесла свой вклад в антропогенное преобразование мира.

И все же большие территории на Земле остаются почти нетронутыми. Они играют огромную, общепланетарную роль в сохранении гомеостазиса экосферы, и потому должны рассматриваться как ценнейшее достояние всего человечества.

По степени антропогенной трансформации современные ландшафты Земли могут быть разделены на две большие группы: А. Коренные (или первичные) и Б. Природно-антропогенные. Ландшафты второй группы делятся на вторично-производные, антропогенно-модифицированные и техногенные.

Коренные (первичные) ландшафты – это зональные типы ландшафта, не подвергшиеся прямому воздействию хозяйственной деятельности, то есть практически не трансформированные. В некоторых случаях на них могут повлиять локальные факторы хозяйствования в прошлом или настоящем, не приводящие, однако, к качественным изменениям ландшафта. Поэтому правильнее называть эти типы ландшафтов условно коренными.

Эта категория включает ландшафты ледниковых пустынь, некоторых тропических пустынь, подавляющую часть высокогорных районов, а также значительные части ландшафтов бореальных лесов (то есть лесов умеренного пояса Северного полушария) и тундры. Сюда относятся также заповедники и другие строго охраняемые территории. Ряд исследователей рассматривает первичные (коренные) ландшафты как важнейший природный ресурс, играющий важную роль в экологической

стабилизации системы Земля. В этой связи надо отметить, что Россия обладает наибольшей в мире площадью свободных ото льда коренных ландшафтов, то есть «дикой» природы.

Вторично-производные ландшафты это природно-антропогенные ландшафты, сформировавшиеся на месте первичных в результате хозяйственной деятельности в настоящем или прошлом, существующие в относительно устойчивом состоянии на протяжении десятилетий или первых столетий благодаря естественным процессам саморегулирования. Такие ландшафты отличаются хозяйственной деятельностью средней интенсивности, или же в малоизмененном ландшафте встречаются отдельные пятна высоко интенсивной деятельности.

Имеется много примеров вторично-производных ландшафтов, таких как мелколиственные (березовые и осиновые) леса Русской равнины, ксерофитные (сухие) кустарники и леса средиземноморского типа, деградированные степи, трансформированные саванны и многие другие. Общим для всех ландшафтов

этой категории является видимое преобладание значительно измененных человеком сообществ растительности (вторичной растительности). Наряду с этим происходят изменения особенностей почв, микроклимата и других компонентов ландшафта.

К категории антропогенно-модифицированных ландшафтов относятся ландшафты с весьма высокой степенью трансформации. В них антропогенные изменения отличались большей скоростью, чем природные вариации географических условий. Эти ландшафты управляются, с одной стороны, как природные системы, а с другой стороны, они в очень большой степени зависят от деятельности человека.

В эту категорию входят прежде всего сельскохозяйственные модификации ландшафтов: поля (орошаемые и неорошаемые), огороды, сады, плантации и пастбища разного типа. Сюда относятся также территории интенсивного, целенаправленного выращивания древесины (сильвикультура). К категории антропогенно-модифицированных ландшафтов относятся также охраняемые рекреационные области, парки прежде всего.

Техногенные ландшафты – это природные системы, управляемые преимущественно деятельностью человека. Это городские системы со всей городской и пригородной инфраструктурой (жилые кварталы, улицы и площади, места отдыха, промышленные зоны, пути сообщения, системы жизнеобеспечения (водоснабжение и канализация, сбор и переработка мусора, энергоснабжение и отопление) и пр.). Это

места добычи и переработки минеральных ресурсов (карьеры, шахты, нефтяные промыслы и пр.). Это ландшафты гидротехнических сооружений (плотины, водохранилища, каналы, насосные станции и т. д.) с прилегающими акваториями и территориями.

По типам деятельности человека антропогенные ландшафты могут быть разделены на следующие категории: ландшафты районов неорошаемого земледелия, ландшафты районов орошаемого земледелия, пастбищные ландшафты, лесохозяйственные ландшафты, горнопромышленные ландшафты, урбанизированные ландшафты, рекреационные ландшафты. Анализ особенностей каждого типа антропогенных ландшафтов выполнен Л.И. Кураковой[15].

Основные особенности антропогенной трансформации ландшафтов и экосистем заключаются в следующем.

• Система из почти полностью замкнутой превращается в разомкнутую (открытую), главным образом, вследствие отчуждения биомассы в виде продукции, используемой человеком. Степень открытости системы является, по-видимому, индикатором степени ее антропогенного преобразования.

• Увеличивается однообразие ландшафтов. Снижение внутриландшафтного разнообразия также может быть индикатором антропогенной трансформации.

• Продуктивность ландшафтов снижается в прямой (возможно, нелинейной) зависимости от интегрального антропогенного давления за определенный интервал времени.

• Чем выше интегральное антропогенное давление, тем в большей степени нарушено эволюционное развитие ландшафтов и экосистем.

• Химическое равновесие, сложившееся в ландшафтах и экосистемах в процессе их эволюции в доантропогенную эпоху, нарушено. Антропогенные потоки химических элементов и их соединений на один-два порядка превышают уровень естественных потоков химических веществ.

• В особенности интенсифицировались потоки биогенных веществ.

• Происходит непрерывная трансформация земельного фонда.

*Общей особенностью ландшафтов мира является ухудшение их состояния (деградация), выражающееся, прежде всего, в снижении их естественной биологической продуктивности.* При этом главные процессы – это обезлесение в сравнительно влажных ландшафтах и опустынивание в относительно сухих ландшафтах. Природные условия, благоприятные для развития этих двух процессов, имеются на более чем 90 % территории

суши без ледников, а антропогенные воздействия превращают эту возможность в реальность.

## IX.4. Проблемы обезлесения

Мы уже обсуждали выше исключительную роль, которую играет биота в целом в стабилизации экосферы Земли. В том числе высока роль лесов. Если воздействие растительности на состояние экосферы чрезвычайно важно, то влияние лесов, составляющих порядка 85 % фитомассы мира, не может не быть определяющим. Действительно, леса играют важнейшую роль в формировании как глобального цикла воды, так и глобальных биогеохимических циклов таких элементов, как углерод и кислород. Леса мира регулируют важные особенности климата и водного режима мира. Экваториальные леса являются важнейшим резервуаром биологического разнообразия, удерживая 50 % видов животных и растений мира на 6 % площади суши. Вклад лесов в мировые ресурсы не только значителен количественно, но и уникален, поскольку леса – это источник древесины, бумаги, лекарств, красок, каучука, плодов и пр.

Леса с сомкнутыми кронами деревьев занимают в мире 28 млн кв. км при примерно одинаковой их площади в умеренном и тропическом поясе. Что касается лесов с разомкнутыми кронами различной площади проективного покрытия, то граница между лесом и не лесом может быть проведена лишь весьма условно, и критерии выделения лесов различаются от страны к стране и от места к месту. Например, Каракумы в районе Репетекской станции в Туркменистане квалифицируются как государственный лесной фонд, тогда как произрастающая там древесная пустынная растительность (преимущественно саксаул) с ландшафтной и геоэкологической точек зрения вряд ли все-таки образует лес. Имея в виду условности такого рода, можно сказать, что общая площадь лесов (сплошных и разреженных) в мире составляет менее трети всей свободной ото льда суши. Согласно Международной организации по продовольствию и сельскому хозяйству (ФАО), в 1995 г. естественные и саженые леса покрывали 26,6 % свободной от льда суши, или примерно 35 млн кв. км.

В результате своей деятельности человек уничтожил не менее 10 млн кв. км лесов, содержавших 36 % фитомассы суши. Главной причиной уничтожения лесов была потребность увеличить, вследствие роста численности населения, площади пашни и пастбища.

Заселение и антропогеное преобразование зоны влажных

экваториальных лесов происходило постепенно. Впервые в этой зоне люди появились 25–40 тыс. лет тому назад в юго-восточной Азии и Океании, 10 тыс. лет назад – в Амазонии, 3000 лет тому назад – в Африке и еще позднее на Мадагаскаре и Новой Зеландии. Во всех случаях антропогенные изменения лесов были незначительными, поскольку обитающие там племена охотников-собирателей оказывают минимальное воздействие на состояние лесов. В течение последних 200 лет в этой зоне появилось плантационное сельское хозяйство, выращивающее продукцию на продажу (сахарный тростник, табак, кофе, какао, чай, каучук, кокосовая и масличная пальмы). После Второй мировой войны возник и вырос спрос на длинные, прямые, твердые сорта древесины. Тогда же были разработаны современные технологические методы ее добычи. Экспорт тропической древесины с 1950 г. увеличился в 16 раз. Наряду с этим резко выросло население, что и привело в конце концов к существенному обезлесению и деградации лесов.

Сельскохозяйственная «колонизация» Европы началась с эпохи великих государств древности, когда были ликвидированы или трансформированы леса Средиземноморья, и в основном закончилась в конце средних веков, когда были вырублены первичные широколиственные и хвойные леса. Сокращение лесов умеренного пояса Евразии и Северной Америки также отвечало необходимости расширения сельскохозяйственного производства. Оно происходило в целом несколько позднее, чем в Западной Европе. Сокращение площади лесов умеренного пояса в основном остановилось в первой четверти XX века. Основные районы расширения пашни располагались в пограничных областях между территориями лесных и травяных формаций, таких как средиземноморские леса, лесостепь, прерии, леса областей достаточного увлажнения умеренного пояса.

В то время как обезлесение умеренного пояса к настоящему времени в основном прекратилось, сокращение площади тропических и экваториальных лесов продолжается. По разным оценкам, их потери находятся в пределах 11–20 млн га в год. Согласно ФАО, в 1980–1990 гг ежегодная потеря площади тропических лесов составляла 15,5 млн га за год. В 1991–1995 гг она сокращалась до 13,7 млн га за год, тогда как в развитых странах площади лесов изменялись незначительно, в среднем увеличиваясь на 1,8 млн га за год. В некоторых развивающихся странах сокращение площади лесов происходит особенно быстро (например, в Малайзии, Таиланде, Индонезии, Филиппинах, Нигерии, Кот д'Ивуар, Коста-Рике и др.) (рис. 17). Кроме того, речь идет о различной степени антропогенной трансформации,

или деградации, лесов – от полностью нетронутых лесов, частично используемых, до полностью вырубленных и расчищенных территорий.

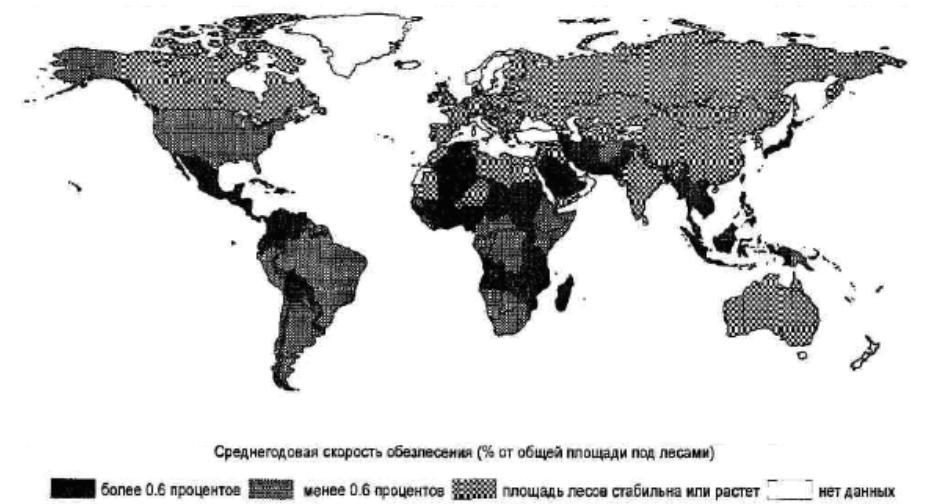
Среднегодовая скорость обезлесения (% от общей площади под лесами)
более 0.6 процентов
менее 0.6 процентов
площадь лесов стабильна или растет
нет данных

**Рис. 17. Средняя величина обезлесения за год по странам мира, в %% от общей площади лесов за период с 1980 по 1990 гг.**

Распространено мнение, что значителное обезлесение происходит в бассейне р. Амазонка. Однако оценки, выполненные на основе детального анализа спутниковых данных за 1978–1994 гг., показали, что скорость обезлесения была 15–20 тыс. кв. км в год, а общая потеря лесов с начала освоения территории, то есть с 1970-х гг., составила приблизительно 6 % от исходной площади леса, составляющей около 5 млн кв. км. Оценку величины обезлесения в Амазонии Д. Скоул (США) с коллегами выполнял на основе следующего соотношения:

$$ЧО = ВПЛ - ЗВЛ + ВВЛ,$$

где ЧО – «Чистое» обезлесение; ВПЛ – Вырубка первичного леса; ЗВЛ – Зарастание вторичным лесом; ВВЛ – Вырубка вторичного леса.

Установлено, что «освоению» подвергаются в основном территории, располагающиеся не в сплошном лесу, а в пограничной зоне между экваториальным лесом и саванной, в таких штатах на юго-западе Амазонии, как Мату-Гроссо или Рондония. Таким образом, сохраняется закономерность в размещении антропогенного сокращения лесов, отмеченная для

умеренного пояса и заключающаяся в том, что вырубаемые леса находятся в экотонной полосе между лесными и травяными формациями.

В расширении антропогенных ландшафтов экваториальной зоны, включая Амазонию, ведущую роль играет строительство дорог. Например, после того, как в 1950-е гг. была построена автомобильная дорога Белем – Бразилия, более 2 млн чел. переселились за десятилетие на прилегающие к дороге территории. Вторичные дороги в Бразилии строятся вглубь леса перпендикулярно к основным дорогам на глубину до 80 км. Затем земля нарезается на участки площадью около 100 га, каждый с выходом к дороге.

Другие факторы сокращения лесов Амазонии – это строительство плотин и водохранилищ и добыча и переработка полезных ископаемых (золото, железо, олово и др.).

Существует много причин тропического обезлесения и комбинаций этих причин. Они различаются от страны к стране и от места к месту. В ряде стран, в особенности в бассейне Амазонки, имеются государственные программы хозяйственного освоения лесных территорий. В целом можно назвать следующие основные причины обезлесения.

• Освоение новых земель под поля, плантации и пастбища как крестьянами-переселенцами, так и крупными фирмами (в основном животноводческими). Новые дороги, прокладываемые в районах освоения, являются опорой для дальнейшей колонизации территории. Во многих районах основная трудность в сельскохозяйственном освоении – быстрое зарастание расчищенных участков лесной растительностью. На некоторых территориях Бразильской Амазонии через 5-10 лет после расчистки вырастают деревья 50–75 видов высотой до 8 м. Поэтому площадь фактического обезлесения бывает заметно меньше, чем площади ежегодной вырубки. Часто под поля и плантации крестьяне предпочитают расчищать относительно молодой вторичный лес, образовавшийся после сплошной вырубки в процессе лесозаготовок. Это в особенности характерно для стран юговосточной Азии.

Если лес уже сведен, то проблема заключается в разработке локальных методов устойчивого сельского хозяйства на расчищенных от леса участках. Эта проблема пока не находит успешных решений в полеводстве. В Амазонии, например, расчищенные поля обрабатываются в течение не более пяти лет, после чего их плодородие падает и их приходится забрасывать. Несколько успешнее дело обстоит с плантациями и с комбинациями земледелия и лесного хозяйства (агролесное

хозяйство, или agroforestry).

• Расширение площади земли, используемой под подсечное земледелие, вследствие роста численности населения племен, практикующих этот метод землепользования.

• Добыча древесины. В отличие от лесов умеренного пояса, в тропических лесах часто производится не сплошная, а выборочная рубка отдельных ценных видов деревьев. При их транспортировке из чащи к дороге гибнет значительное количество леса (согласно одному из исследований, на одно срубленное дерево приходится два погибших или серьезно поврежденных; по другим сведениям, эта пропорция еще больше). Поэтому зачастую основной геоэкологический результат лесозаготовок не сокращение площади лесов, а их деградация.

• Помимо потребностей в ценной древесине, тропические леса удовлетворяют потребности местного населения в дровах. (В большинстве африканских стран от 70 до 95 % домашних потребностей в энергии, главным образом для приготовлении пищи, удовлетворяются за счет дров.)

Эффективное использование территорий влажных экваториальных лесов приносит немалые трудности. Основная масса биогенных веществ находится преимущественно в деревьях и при вырубке удаляется вместе с ними, а почвы остаются мало плодородными. Почвы подвержены также неблагоприятному воздействию прямых лучей солнца и сильных дождей. Во влажных тропиках отмечается дефицит фосфора и калия, а в сухих – азота. Плодородные почвы встречаются лишь в специфических местах, таких как склоны вулканов или поймы и дельты рек. В целом чем больше величина осадков за год и продолжительнее сезон дождей, тем труднее вести сельское хозяйство.

Вследствие очень сложных связей в экосистемах, небольшие изменения в них могут привести к непредвиденным последствиям. Например, определенный вид дерева может оказаться ключевым в обеспечении существования ряда видов в засуху. Многие виды животных и растений нуждаются в большой площади для поддержания своего существования, что весьма затрудняет управление территориями. Некоторые виды играют особую, часто не вполне понятную роль в экосистемах. Это так называемые ключевые виды (keystone species), требующие особого внимания.

По Д. По и Д. Сейерс (Англия), основные принципы управления территориями влажных тропических лесов выглядят следующим образом.

1) Принятие во внимание экологических ограничений на всех стадиях осуществления хозяйственных проектов.

2) Предоставление тропического леса для удовлетворения потребностей, не связанных с функционированием леса, допускается только после всесторонней (экономической, социальной и экологической) оценки проекта и в диалоге с местными жителями.

3) Тропический лес может быть превращен в другие виды использования земель только в том случае, если доказано, что это выгоднее и целесообразнее, чем использование леса.

4) Деградировавший лес должен и далее использоваться, где возможно, для хозяйственных целей, тогда как естественный лес должен сохраняться.

5) Специальное внимание должно уделяться тем лесным территориям, основная задача которых – сохранение биологического разнообразия или осуществление водозащитных функций на водосборах.

6) Население тропических лесов должно иметь возможность участвовать в их управлении.

При управлении тропическими лесами часто не принимается во внимание, что выгоды от использования лесов в их устойчивом состоянии могут приносить больше дохода, чем выгоды, связанные с расчисткой лесов и использованием древесины. Показано, например, что сбор плодов, ягод, лекарственных растений, каучука и пр. приносит не меньший, а часто и больший доход, чем вырубка леса, а при этом и лес сохраняется.

Вообще говоря, отношение к тропическим лесам только как к ресурсу имеет право на существование, но следует помнить, что очень большие территории пока еще существующих лесов играют важнейшую роль в стабилизации состояния экосферы. В конце концов, один ресурс может быть замещен другим, а экосистемная функция тропических лесов незаменима. Стратегия управления тропическими лесами должна основываться на признании леса как общего и неисчисляемого достояния человечества.

В лесах умеренного пояса наибольшие проблемы встречаются в Российской Федерации. Россия отличается наибольшей площадью лесов на Земле, достигающей 7,7 млн кв. км, что составляет 46 % всех внетропических лесов мира. Расчетная лесосека страны (то есть ежегодный прирост древесины) используется лишь частично. Экономическая депрессия последнего десятилетия привела к сокращению объема добываемой древесины. В 1996 г. вырубка леса составила лишь 21,4 % от расчетной лесосеки, но в некоторых районах Европейской России, например в Татарстане, Коми и Чувашии, она превышает 100 %, то есть площадь лесов сокращается.

Во многих районах России первичные леса замещены

вторичными. Часть лесов страдает от кислотных осадков, в особенности вокруг городов. Леса России несут большой ущерб от пожаров и вредителей, распространяющихся на больших площадях, порядка 1 млн га в год.

Вследствие общемировой роли лесов в стабилизации экосферы нужен глобальный подход к управлению ими. Необходимо разработать и принять международную конвенцию по лесам, которая определила бы основные принципы и механизмы международного сотрудничества в этой области в целях поддержания устойчивого состояния лесов и его улучшения.

Один из компонентов этого сотрудничества успешно функционирует. Это Международная Организация по древесине (ITO), объединяющая как страны-потребители, так и страны – владельцы лесных ресурсов (не только тропического, но и умеренного пояса). Голоса стран-участников имеют различный вес, в зависимости от объема владения или потребления древесины. Участники Организации согласились, что к 2000 г. вся древесина на международном рынке должна происходить из экологически устойчиво управляемых лесов.

## IX.5. Проблемы опустынивания

Существует неточное представление о том, что опустынивание – это наступление пустынь на более продуктивные территории. На самом деле Международная Конвенция по борьбе с опустыниванием, заключенная в 1994 г., дает следующее определение процесса опустынивания: «Опустынивание означает деградацию земель в засушливых… районах, которая происходит вследствие различных факторов, включая колебания климата и деятельность человека». И далее: «Деградация земель означает сокращение или полную потерю… биологической или экономической продуктивности… неорошаемых и орошаемых земель или же пастбищ и лесов вследствие использования земель или других действий, ведущих к таким процессам, как ветровая и водная эрозия почв, ухудшение физических, химических и биологических свойств почв, и к долгосрочной потере естественной растительности».

Почвы районов опустынивания отличаются низким плодородием, что в сочетании с малыми и изменчивыми осадками приводит к тому, что биологическая продуктивность в районах значительного опустынивания не превышает 400 кг/га в год сухого вещества.

В соответствии с климатическими условиями, пустыни

должны занимать в мире площадь порядка 48 млн кв. км (включая ледниковые покровы, то есть ледяные пустыни). Фактически, в соответствии с почвенно-ботаническими данными, их площадь достигает 57 млн кв. км. Разность между этими двумя цифрами, равная 9 млн кв. км, представляет антропогенные пустыни. Опустынивание различной степени развивается еще на 25 млн кв. км. Распространение территорий, подверженных опустыниванию, показано на рис. 18.

Около 3/4 аридных территорий Африки и Северной Америки подвержены деградации, то есть опустыниванию. Одна шестая часть населения мира живет в зоне угрозы опустынивания. Мировые экономические потери от опустынивания, по состоянию на 1990 г., оцениваются в 42 миллиарда долларов ежегодно. В России опустыниванию подвержены территории, расположенные, главным образом, в бассейне Каспийского моря, в особенности Калмыкия.

**Рис. 18. Пространственное распределение территорий мира, подверженных опустыниванию**

**Рис. 19. Колебания годовых сумм осадков в Сахеле за 1897–1990 гг.**

С климатической точки зрения, согласно Международной Конвенции по борьбе с опустыниванием, зона риска опустынивания находится в следующих пределах:

$$P/PET = 0{,}05\text{-}0{,}65,$$

где P – осадки за год и PET – потенциальная эвапотранспирация. В эту категорию попадают аридные земли различной степени засушливости. Отметим как пока редкий случай, что в международном юридическом документе используется геоэкологический критерий.

Как видно из определения, опустынивание развивается вследствие неблагоприятного сочетания естественных и социально-экономических факторов. Сахель – обширная территория к югу от Сахары в наибольшей степени страдает от опустынивания. В Сахели количество населения и скота очевидно превысило потенциальную емкость этой территории. В 1968 г. там началась многолетняя засуха, то есть период с пониженным количеством осадков, продолжавшаяся двумя волнами в течение приблизительно 20 лет (рис. 17). Это привело к снижению продуктивности полей и пастбищ, высыханию колодцев, уменьшению речного стока, падению уровня озера Чад и другим катастрофическим последствиям. Во время первой волны засухи (1968–1973 гг.) погибло от голода свыше 250 тыс. жителей и 40 % скота. В Мали и Мавритании погибло даже более 90 % скота.

Климат – важнейший естественный фактор формирования территорий различной степени опустынивания. В особенности это хорошо видно на примере Сахели, где в направлении с севера на юг имеются резкие гидроклиматический и геоэкологический градиенты, определяющие пространственные изменения

основных типов хозяйства (табл. 17). С севера на юг увеличиваются осадки, снижается их изменчивость от года к году, увеличивается продолжительность влажного сезона, улучшается водный баланс за сезон дождей. Соответственно, роль земледелия в сельском хозяйстве к югу усиливается, а скотоводства, наоборот, сокращается.

*Таблица 17*

**Геоэкологические факторы опустынивания в Сахели**

| Тип Растительности | Пустыня | Кустарниковая полупустыня | Сухая саванна | Кустарниковая саванна | Лесистая саванна (миомбо) | Влажные леса |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Осадки за год, мм | <150 | 150-350 | 350-600 | 600-900 | 900-1200 | >1200 |
| Вариация осадков, % | >100 | 100-50 | 50-30 | 30-20 | 20-15 | <15 |
| Продолжительность влажного сезона, сут. | <30 | 30-70 | 70-100 | 100-140 | 140-190 | >190 |
| Водные баланс за влажный сезон, мм | - 70 | -70 -110 | -110 -10 | -10 +120 | +120 +310 | >+310 |
| Тип хозяйства | Кочевое скотоводство | Сезонное кочевое скотоводство | Отгонное скотоводство и неустойчивое земледелие | Земледелие сорго, просо Животноводство | Подсечное земледелие: маис, кассава. Агролесное хозяйство | Агролесное хозяйство. Подсечное земледелие |
| Экогидрол. проблемы | Земледелие практически невозможно | Земледелие возможно только при орошении | Культуры с коротким вегетацион. периодом. Дефицит воды в сухие годы | Дефицит воды в исключит. сухие годы | Дефицит воды в чрезвыч. засушлив. годы | Нет проблем |

Из табл. 17 видно, что уровень в 600 мм осадков в год разделяет районы с устойчивым и неустойчивым земеледелием. Однако средняя многолетняя величина не вполне показательна. Малая продолжительность влажного сезона и его вариации во времени от года к году делают земледелие рискованным даже при большем количестве осадков. Земледелие в Сахели вследствие климатических условий всегда рискованно. К тому же краткость сезона дождей резко ограничивает возможности земледелия, заставляя крестьянина выращивать только культуры с коротким вегетационным перидом. Соответственно, и в скотоводстве большая изменчивость осадков от года к году очень сильно изменяет условия существования для скота и его хозяев, от почти изобилия до крайнего дефицита воды и пищи.

Неприятная дополнительная агроклиматическая особенность Сахели и других аридных территорий в том, что как влажные, так и сухие годы складываются обычно в серии лет, образуя засушливые или влажные периоды. Как земледельцы, так и скотоводы обычно располагают опытом выживания в пределах одного сухого года, но они не в состоянии пережить серию засушливых лет, что приводит их к катастрофе.

В Сахеле благодаря климатическим условиям при перемещении к югу увеличивается биологическая продуктивность

территориии, а поэтому и плотность населения. При этом во всех типах ландшафтов и соответствующих им типах хозяйства численность населения превышает потенциальную емкость территории. В особенности сложная ситуация складывается в зоне неустойчивого земледелия с осадками 400–600 мм, где высокая плотность населения сочетается с конфликтными интересами скотоводства и земледелия, что вызывает, в конечном итоге, усиление опустынивания.

С этой точки зрения, территорию Сахеля можно разделить, по изогиете 400 мм, на преимущественно земледельческую и главным образом скотоводческую зоны. В первой, вследствие роста населения, сокращаются площади залежных земель. Они превращаются в пашню, довольно быстро деградируют, что снова приводит к необходимости отправить часть пашни в залежь и к необходимости новой распашки, в то время как площади залежи и время «отдыха» земли сокращаются, что вызывает дальнейшую деградацию этих территорий. Так возникают новые очаги опустынивания в этой зоне, весьма далеко от Сахары.

В скотоводческой зоне, несмотря на невысокую биологическую продуктивность на единицу площади, естественная растительность лучше, чем в земледельческой зоне. Производительность пастбищ в Сахели (на единицу площади) в 1,5—10 раз выше, чем в современных хозяйствах Техаса или Австралии, потому что разнообразный скот в стадах населения Сахели поедает всю растительность: коровы – траву, овцы – кустарник, козы – ветви деревьев. К тому же в Сахели на 1 кв. км приходится 10 пастухов, а в современных хозяйствах США – один пастух на 100 кв. км, то есть их плотность в Сахели в 1000 раз выше. Эти обстоятельства делают, казалось бы, примитивную систему скотоводства фактически весьма эффективной, весьма приспособленной к агроэкологическим условиям района и практически не угрожающей экологическому состоянию скотоводческой зоны. Однако система скотоводства, созданная опытом многих поколений, не выдерживает повышающегося антропогенного давления.

В процессе циклического отгонного животноводства в пределах скотоводческой зоны скот зимой перегоняют к югу, а летом (в сезон осадков) – на север, в направлении Сахары. На юге зоны количество и качество пастбищ хуже, чем на севере, вследствие высокой плотности населения и конфликта интересов скотоводов и земледельцев. В результате эти земли подвергаются сверхэксплуатации и деградируют.

В благоприятные годы и серии лет несколько расширяется площадь более увлажненной зоны, с соответствующим

смещением к северу основных типов хозяйства. Тем серьезнее проблемы последующих лет: деградация пашни и пастбищ, гибель скота, а зачастую и людей. Избыточное антропогенное давление в сочетании с неблагоприятными погодными условиями в течение ряда лет приводят к усилению опустынивания. Поэтому трудно различать вклад человека и вклад природы в процесс деградации аридных земель.

Сахель – это лишь типичный и наиболее известный пример, но процессы опустынивания во многом схожи во всех аридных районах мира.

Признаками опустынивания являются: сокращение степени покрытости почвы растительностью, увеличение отражательной способности (альбедо) поверхности почвы, значительная потеря многолетних растений, особенно деревьев и кустарников, деградация и эрозия почвы, кое-где наступание песков и засоление почв. Все эти природные процессы типичны для аридных ландшафтов, и они регулируются естественным образом. Но когда они взаимосвязаны с действиями человека, многие изменения становятся необратимыми.

Эффективная борьба с опустыниванием должна основываться на глубоком понимании системы взаимодействующих естественных и социально-экономических факторов и, в конечном итоге, на стратегии социально-экономического преобразования стран, страдающих от опустынивания. Международная Конвенция по борьбе с опустыниванием – один из основных механизмов участия всех стран мира в решении этой проблемы.

## IX.6. Проблемы сохранения биологического разнообразия Земли

Биологическое разнообразие (далее в этом разделе – БР) – это совокупность всех форм жизни, населяющей нашу планету. Это то, что делает Землю не похожей на другие планеты Солнечной системы. БР – это богатство и многообразие жизни и ее процессов, включающее разнообразие живых организмов и их генетических различий, так же как и разнообразие мест существования, сообществ, экосистем и ландшафтов, в которых организмы существуют. БР делится на три иерархические категории: разнообразие среди представителей тех же самых видов (то есть на уровне генов), между различными видами и между экосистемами.

Генетическое разнообразие, очевидно, чрезвычайно велико. В этом контексте под ним понимаются вариации генов внутри видов. До недавних пор изменения генетического разнообразия

исследовались преимущественно на породах домашних растений и животных, а также на популяциях отдельных видов, находящихся в ботанических садах и зоопарках. Исследования глобальных проблем БР на генетическом уровне – дело будущего.

Что касается видового разнообразия, то до сего времени даже подсчеты числа видов на Земле, выполненные различными авторами, различаются на порядок. Авторитетная оценка видового разнообразия, которая привлекла к этой работе около 1500 специалистов, выполнена в ЮНЕП в 1995 г. Согласно этой оценке, наиболее вероятное количество видов – 13–14 млн, из которых описаны лишь 1,75 млн, или менее 13 %. Среди растений и хордовых животных описаны 85–90 % видов, но во всех других таксонах описано много менее половины видов. Оценки общего числа видов находятся в пределах между 3,6 млн и 112 млн. Столь большое различие связано преимущественно с тем, что число видов насекомых оценивается в пределах от 2 до 100 млн видов, но даже если не принимать во внимание столь расходящиеся данные по насекомым, все равно уровень знания биологического разнообразия остается невысоким.

Наивысший иерархический уровень биологического разнообразия – экосистемный, или ландшафтный. Мелкомасштабные карты зональных типов ландшафтов мира или континентов по сути дела отражают биологическое разнообразие высшего иерархического уровня.

Наибольшим видовым разнообразием отличаются нижеследующие ландшафты (в убывающем порядке): влажные экваториальные леса, коралловые рифы, сухие тропические леса, влажные леса умеренного пояса, океанические острова, ландшафты средиземноморского климата, безлесные (саванновые, степные) ландшафты. Богатство влажных экваториальных лесов особенно велико: например, на 200 га леса в Индонезии произрастает столько же видов деревьев, сколько их имеется во всей внетропической Северной Америке. Не меньшим видовым разнообразием отличаются коралловые рифы.

Согласно авторам карты «Глобальное биоразнообразие. Количество видов сосудистых растений» масштаба 1:85 млн (по экватору), составленной в Боннском университете (Германия) в 1996 г., фиторазнообразие играет фундаментальную роль в экосфере, предопределяя биоразнообразие экосистем суши. Высшие растения, общим числом в мире до 400 000 видов, доминируют с точки зрения биопродуктивности и биоразнообразия. От них зависят 20 млн видов консументов и редуцентов, то есть организмов, обеспечивающих потребление и распад органического вещества. В среднем один вид сосудистых

растений обеспечивает жизнедеятельность примерно 66 видов животных, грибов, бактерий и пр. Таким образом, есть серьезные основания полагать, что карта числа видов сосудистых растений репрезентативно отражает пространственное распределение общего разнообразии жизни. Упрощенный вариант карты представлен на рис. 20.

По всей видимости, карта отражает две основные глобальные закономерности БР.

1) Четкую зависимость степени биоразнообразия от зональных ландшафтных условий, таким образом, что во влажных экваториальных и тропических лесах степень фиторазнообразия наивысшая, порядка 3000–5000 видов на 10 000 кв. км, в зоне тайги и смешанных лесов умеренного пояса она составляет примерно 500 видов, а в тундре и пустынях она не превышает 200 видов на ту же площадь. Все остальные зональные типы ландшафтов закономерно укладываются в промежуточные значения фито– (и био-) разнообразия.

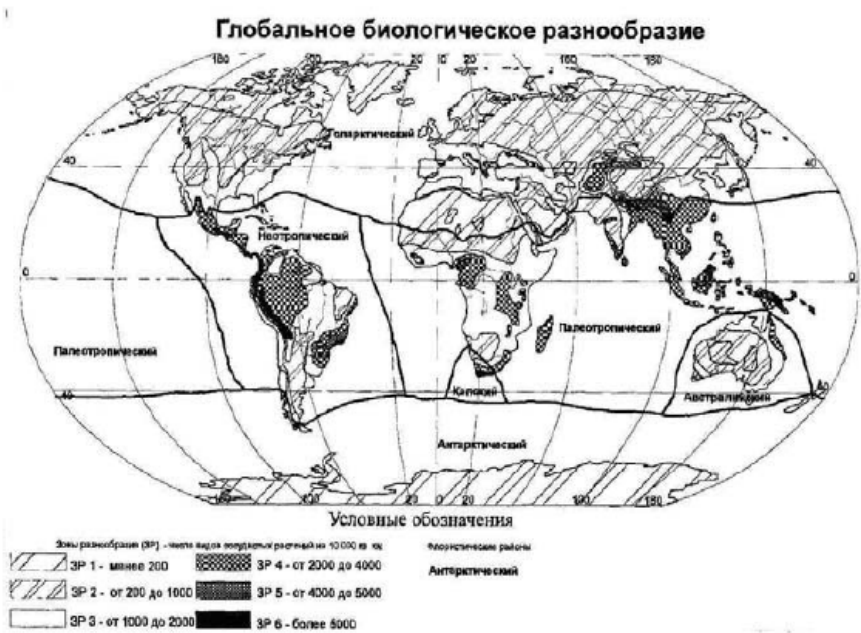


**Рис. 20. Схематическая карта биологического разнообразия суши мира**

2) На эту картину в ряде районов тропиков и субтропиков накладываются специфические природные условия, такие как высокое разнообразие условий рельефа, почв, климата, а также и история развития этих территорий, служивших убежищами (рефугиумами) видов при резких изменениях природной

обстановки. В результате отмечаются глобальные центры максимумов биоразнообразия и прочие центры высокого биоразнообразия. Многие центры были первоначально выделены Н. И. Вавиловым в 1920-е гг.

Авторы карты фиторазнообразия выделяют шесть центров максимального глобального биоразнообразия. Каждый центр содержит более 5000 видов сосудистых растений на 10 000 кв. км.

1. Чоко (Коста-Рика).
2. Тропические Восточные Анды.
3. Приатлантическая Бразилия.
4. Восточные Гималаи (провинция Юннань).
5. Северный Борнео.
6. Новая Гвинея.

Помимо глобальных центров, выделяются еще 16 центров высокого биоразнообразия (от 3000 видов на 10 000 кв. км и более), в пределах которых встречаются пятна наивысшего разнообразия. К таким центрам высокого биоразнообразия относятся, например, Средиземноморье (включая Кавказ), Тянь-Шань – Памиро-Алай, Восточно-Африканская рифтовая долина, Капский центр (юг Африки), Мадагаскар, Гвианское нагорье и др.

В последние два десятилетия биологическое разнообразие стало привлекать внимание не только специалистов-биологов, но и экономистов, политиков, а также общественность, в связи с очевидной угрозой антропогенной деградации биоразнообразия, намного превышающей нормальную, естественную деградацию.

За последние 500 млн лет на Земле было пять периодов массового исчезновения видов. Из них последний был примерно 65 млн лет тому назад. Для восстановления биологического богатства на новом уровне каждый раз необходимо было примерно 10 млн лет. В настоящее время, вследствие деятельности человека, имеется реальная опасность наступания еще одного периода массового сокращения биологического разнообразия, но со скоростью, значительно превышающей как скорость в предшествующие периоды массового уничтожения, так и современную естественную скорость уничтожения и замещения видов.

Согласно «Глобальной оценке биологического разнообразия» (Global Biodiversity Assessment, 1995), перед угрозой уничтожения стоят более чем 30 000 видов животных и растений. Скорость исчезновения видов млекопитающих в этом столетии в 40 раз превышала максимальные скорости, зафиксированные в геологическом прошлом. За последние 400 лет исчезли 484 вида животных и 654 вида растений.

Причины современного ускоренного снижения

биологического разнообразия следующие.

• Быстрый рост населения и экономического развития, вносящие огромные изменения в условия жизни всех организмов и экологических систем Земли.

• Не принимаются во внимание долговременные последствия действий, разрушающих условия существования живых организмов, эксплуатирующих природные ресурсы и интродуцирующих неместные виды.

• Рыночная экономика не в состоянии оценить истинную стоимость биологического разнообразия и его потерь.

• Увеличение миграции людей, рост международной торговли и туризма.

• Усиливающееся и распространяющееся загрязнение воды, почв и воздуха.

За последние 400 лет основными непосредственными причинами исчезновения видов животных были:

1) интродукция новых видов, сопровождавшаяся вытеснением или истреблением местных видов (39 % всех потерянных видов животных);

2) разрушение условий существования, таких как потеря территорий, заселенных животными, и их деградация, фрагментация, усиление краевого эффекта (36 % от всех потерянных видов);

3) неконтролируемая охота (23 %);

4) прочие причины (2 %).

Основные факторы изменения биоразнообразия схематически представлены на рис. 21.

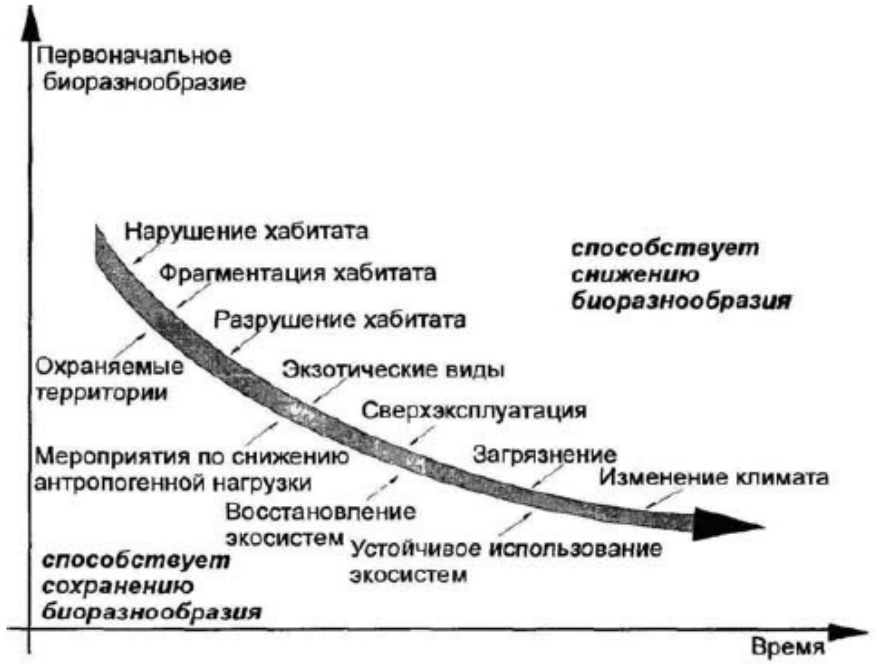


**Рис. 21. Основные факторы изменения биологического разнообразия**

***Экономическая ценность биологического разнообразия***

(по "Global Biodiversity Assessment. Summary for Policy-Makers". UNEP, 1995)

**Используемые ценности.**

**Непосредственная ценность.** Стоимость тех компонентов биоразнообразия, которые удовлетворяют потребности общества.

*Потребительское использование* генов, видов или экологических сообществ или же биологических процессов для обеспечения таких нужд, как продовольствие, топливо, медицина, энергия и древесина.

*Непотребительское использование* компонентов биоразнообразия для отдыха, туризма, науки или образования.

**Опосредованная ценность.** Использование биоразнообразия для обеспечения экономической или другой деятельности общества. Эта ценность вытекает из роли биоразнообразия в сохранении тех "услуг"

экосистем, которые поддерживают биологическую продуктивность, стабилизируют климат, поддерживают плодородие почв и очищают природные воды и воздух.

**Неиспользуемые, или пассивные, ценности.**

**Ценность для блага других членов современного общества.** Это то, что люди готовы платить (или выгоды, от которых они согласны отказаться), с тем чтобы другие члены данного поколения могли использовать определенные компоненты биоразнообразия.

**Ценность завещания для будущих поколений.** Это то, что люди готовы платить (или выгоды, от которых они согласны отказаться), с тем чтобы будущие поколения могли использовать определенные компоненты биоразнообразия.

**Ценность существования биоразнообразия.** Это то, что люди готовы платить (или выгоды, от которых они согласны отказаться), с тем чтобы обеспечить непрерывное существование биоразнообразия или его определенных компонентов. Иногда ее называют истинной ценностью.

Почему необходимо сохранять генетическое разнообразие? Существует несколько основных причин.

• Первая из них – этическая. Все виды (какими бы вредными или неприятными они ни были) имеют право на существование. Это положение записано во «Всемирной хартии природы», принятой Генеральной Ассамблеей ООН.

• Наслаждение природой, ее красотой и разнообразием также имеет высочайшую ценность, не выражающуюся в количественных показателях.

• Разнообразие – это основа эволюции жизненных форм. Снижение видового и генетического разнообразия подрывает, следовательно, дальнейшее совершенствование форм жизни на Земле.

• Существует серьезная экономическая целесообразность сохранения биоразнообразия, по крайней мере, вследствие двух главных причин: а) дикая живая природа – источник селекции домашних растений и животных, а также и генетический резервуар, необходимый для обновления и поддержания устойчивости сортов; б) дикая природа – источник лекарств. По разным оценкам, от 25 до 40 % лекарств содержат естественные биологические компоненты. Более детально экономическая ценность биоразнообразия представлена в таблице.

Имеется много способов защиты биологического

разнообразия. На уровне видов выделяются два основных стратегических пути: in situ (то есть в месте обитания) и ex situ (вне места обитания).

Стратегия in situ – основная. При ней отдельные виды или популяции охраняются законом, регулируется охота на них и торговля ими (в том числе международная), разрабатываются и осуществляются стратегии по охране отдельных, наиболее ценных и редких видов (например, носорог, уссурийский тигр) или стратегии по реинтродукции видов в дикую природу (лошадь Пржевальского, бизон, зубр). На уровне стран принимаются законы, регулирующие вопросы охраны диких животных и растений.

При стратегии ex situ для сохранения ограниченного количества особей диких животных используются зоопарки, ботанические сады, аквариумы, коллекции семян и микроорганизмов. Выпускаются также *Красные книги,* содержащие список видов, находящихся под угрозой исчезновения.

Охрана биоразнообразия на уровне видов – дорогой и трудоемкий путь, возможный только для избранных видов, но недостижимый для охраны всего богатства жизни на Земле. По-видимому, главное направление стратегии должно быть на уровне экосистем, таким образом, чтобы планомерное управление экосистемами обеспечивало бы и охрану БР на всех трех иерархических уровнях.

Наиболее эффективный и относительно экономичный способ охраны БР на экосистемном уровне – охраняемые территории. В соответствии с классификацией Всемирного союза охраны природы (IUCN) выделяются 8 видов охраняемых территорий.

1. Заповедник. Цель – сохранение природы и природных процессов в ненарушенном состоянии.

2. Национальный парк. Цель – сохранение природных областей национального и международного значения для научных исследований, образования и отдыха. Обычно это значительные территории, в которых использование природных ресурсов и другие материальные воздействия человека не допускаются.

3. Памятник (достопримечательность) природы. Это обычно небольшие территории.

4. Управляемые природные резерваты. Сбор некоторых природных ресурсов разрешается под контролем администрации.

5. Охраняемые ландшафты и приморские виды. Это живописные смешанные природные и окультуренные территории с сохранением традиционного использования земель.

(В статистику по охраняемым территориям обычно включают

земли категорий 1–5.)

6. Ресурсный резерват, создаваемый, чтобы предотвратить преждевременное использование территории.

7. Антропологический резерват (резервация), создаваемые для сохранения традиционного образа жизни коренного населения.

8. Территория многоцелевого использования природных ресурсов, ориентированная на устойчивое использование вод, леса, животного и растительного мира, пастбищ и для туризма.

Имеются еще две дополнительные категории, накладывающиеся на вышеперечисленные восемь.

9. Биосферные заповедники. Создаются в целях сохранения БР. Включают несколько концентрических зон различной степени использования: от зоны полной недоступности (обычно в центральной части заповедника) до зоны разумной, но достаточно интенсивной эксплуатации.

10. Места всемирного наследия. Создаются для охраны уникальных природных особенностей мирового значения. Управление осуществляется в соответствии с Конвенцией по всемирному наследию.

В России различаются следующие категории охраняемых территорий:

а) государственные природные заповедники, в том числе биосферные;

б) национальные парки;

в) природные парки;

г) государственные природные заказники;

д) памятники природы;

е) дендрологические парки и ботанические сады;

ж) лечебно-оздоровительные местности и курорты.

Всего в мире в 1994 г. было 9793 охраняемых территорий категорий 1–5 по классификации IUCN общей площадью 9,6 млн кв. км, или 7,1 % от общей площади суши (без ледников). Цель, которую ставит перед мировой общественностью Всемирный Союз охраны природы, – добиться расширения охраняемых территорий до 10 % площади каждой крупной растительной формации (биома) и, следовательно, мира в целом. Это способствовало бы не только охране биоразнообразия, но и повышению устойчивости экосферы в целом.

В Северной и Центральной Америке имеется 2549 охраняемых территорий, занимающих 10,2 % площади континента.

В России в 1996 г. было 94 заповедника общей площадью 0,31 млн кв. км, или 1,5 % от территории страны. В России

имеются также 31 национальный парк, 66 природных заказников федерального значения и более 1600 заказников регионального значения. 1347 памятников охраны природы, но все это общей площадью лишь чуть более 0,1 млн кв. км.

Стратегия расширения числа и площади охраняемых территорий находится в противоречии с использованием земли для других целей, в особенности имея в виду растущее население мира. Поэтому для охраны биологического разнообразия необходимо, наряду с охраняемыми территориями, в возрастающей степени совершенствовать использование «обычных», заселенных земель и управление популяциями диких видов, причем не только исчезающих, и местами их обитания на таких землях. Необходимо применять такие приемы, как зонирование территорий по степени использования, создание коридоров, соединяющих массивы земель с меньшим антропогенным давлением (например, леса), сокращение степени фрагментации очагов биоразнообразия, управление экотонами (пограничными зонами между различными элементами ландшафта), сохранение природных переувлажненных земель, управление популяциями диких видов и местами их обитания.

Весьма эффективным может быть биорегиональное управление значительными территориями и акваториями, в особенности, если такие территории полностью или частично относятся к категории охраняемых с различной степенью охраны. К ним относятся, например, Йеллоустонский национальный парк в США, Большой Барьерный риф в Австралии, национальный парк Серенгети в Танзании, восточная часть Северного моря (Ваддензее) в Европе и др.

К эффективным способам защиты биологического разнообразия относятся и международные соглашения, общее число которых в области охраны БР весьма значительно. Конференция ООН по окружающей среде и развитию (1992 г.) приняла Международную конвенцию по охране биологического разнообразия, являющуюся центральной и важнейшей в этой области. Этот всеобъемлющий документ, обязательный к исполнению участниками Конвенции, ориентирован на вопросы использования и охраны биоразнообразия. Он требует, чтобы страны-участницы разработали и осуществляли стратегию устойчивого использования и защиты биоразнообразия. Конвенция обеспечивает форум для продолжения дискуссий по вопросам биоразнообразия.

Важным соглашением является Конвенция о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой уничтожения (CITES), к которой присоединились более

ста государств. Существует также ряд других конвенций, охраняющих различные аспекты биологических ресурсов и биоразнообразия, такие как Конвенция по охране мигрирующих видов диких животных, Конвенция по охране водно-болотных угодий или Конвенция по защите китов. Наряду с глобальными конвенциями существуют и многочисленные региональные и двухсторонние соглашения, регулирующие конкретные вопросы биоразнообразия.

К сожалению, пока можно констатировать, что несмотря на многочисленные меры, ускоренная эрозия биологического разнообразия мира продолжается. Однако без этих мер защиты степень потери биоразнообразия была бы еще выше.

# Часть IV
# Геоэкологические аспекты природно-техногенных систем

# X.1. Природно-техногенные системы

В результате деятельности человека за всю историю его существования, и в особенности за последние 100 лет, на Земле сформировались такие системы, в которых большую, если не определяющую, роль играют не только естественные, но и техногенные процессы. Эти системы можно назвать природно-техногенными. К ним относятся разнообразные городские и сельские поселения, сельскохозяйственные системы, отдельные промышленные предприятия и индустриальные зоны, транспорт и транспортные коммуникации, энергетические системы, горнорудные предприятия вместе с зонами их влияния, рекреационные системы и др.

Природно-техногенные системы (ПТС) существенно преобразовали ту природу, которая была до появления человека. Уже в древнем Риме горно-промышленные предприятия заметно влияли на состояние окружающей среды. Несмотря на то что ПТС и сейчас обычно занимают относительно небольшую площадь, их влияние на экосферу и ее составные части весьма велико.

Природно-техногенные системы отличаются двойственностью, как это видно из самого термина. С одной стороны, первоначальные природные их особенности в значительной степени изменены и состояние ПТС определяется антропогенной нагрузкой на них. С другой стороны, основные особенности их функционирования во многом зависят от природных условий, в которых эти системы размещаются. Основные компоненты ландшафта, такие как рельеф, геологическое строение, климат и до некоторой степени природные воды, сохраняют свои основные особенности и в пределах ПТС, оказывая решающее влияние на состояние природно-техногенной системы. Даже в больших и древних городах (как, например, в Москве), несмотря на продолжительную и интенсивную антропогенную нагрузку, первоначальные естественные черты просвечивают сквозь позднейшие антропогенные наслоения.

Геоэкологические проблемы природно-техногенных систем также двойственны. Они несут в себе как антропогенные, так и естественные черты. В самом деле, многие геоэкологические проблемы горно-промышленных городов похожи, потому что тип производства, характер и уровни загрязнения среды подобны. Но они в то же время могут весьма сильно различаться друг от друга, потому что их природные условия (геолого-геоморфологические и гидроклиматические) могут быть столь же различны, сколь

различаются, например, Кольский полуостров и юго-восточная Бразилия.

Отличительная особенность геоэкологического взгляда на ПТС заключается в том, что главным объектом геоэкологии является исследование взаимосвязей между собственно технической системой и пронизывающей ее природой, в то время как анализ экологических процессов на предприятии (транспортной системе, населенном пункте, сельскохозяйственном поле и пр.) относится к инженерии, агрономии, архитектуре и другим прикладным областям знания. Объектом геоэкологии может быть взаимодействие нефтепроводов и окружающей среды в Аравийской пустыне или Сибирской заболоченной лесотундре на вечной мерзлоте, тогда как вопросы функционирования механизмов и инженерных систем в этих специфических природных условиях относятся к категории инженерной экологии. Однако четкую границу между инженерной экологией и геоэкологией природнотехногенных систем провести затруднительно.

Вследствие острой практической необходимости, прикладная экология развивается интенсивно во многих отраслях прикладных наук. Чаще всего ее обозначают на русском языке термином «инженерная экология». Для желающих познакомиться более детально с этим разделом знания, в том числе с принятыми в нашей стране экологическими стандартами и нормативами, имеется ряд публикаций[16]

В Части IV очень кратко рассматриваются основные геоэкологические особенности и проблемы важнейших типов ПТС. При этом неизбежно некоторое повторение излагаемого ранее материала, поскольку в соответствующих разделах, но под другим углом зрения, уже обсуждались такие вопросы, как геоэкологические аспекты урбанизации, энергетики, интенсивного сельского хозяйства, промышленности, транспорта и другие.

# X.2. Геоэкологические аспекты урбанизации

Одна из важнейших общемировых проблем – урбанизация, или быстрый рост городов и городского населения. Этот процесс относится к категории важнейших глобальных изменений. В 1996 г. городское население составляло 2,64 млрд чел., или почти половина всего населения мира. На фоне общего роста численности населения мира городское население за 1990–1995 гг. увеличивалось со скоростью 2,5 % за год, тогда как сельское – всего лишь 0,8 %. Ежедневно к городскому населению развивающихся стран мира добавляется около 150 тыс. чел.

Основные непосредственные причины роста численности городского населения: а) миграции людей в города из сельской местности, а также и из других стран и б) прирост населения в городах благодаря превышению рождаемости городского населения над его смертностью.

Рост численности городского населения в недавнем прошлом и на ближайшую перспективу столь же впечатляющий (табл. 18.).

*Таблица 18*

**Рост городского населения мира**

| | Численность, млн чел. | | | Доля городского населения, % | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Континент | 1975 | 1995 | 2025 | 1975 | 1995 | 2025 |
| Африка | 104 | 250 | 804 | 25 | 34 | 54 |
| Европа | 454 | 535 | 598 | 67 | 74 | 83 |
| С. и Ц. Америка | 235 | 332 | 508 | 57 | 68 | 79 |
| Ю. Америка | 138 | 249 | 406 | 64 | 78 | 88 |
| Азия | 592 | 1198 | 2718 | 25 | 35 | 55 |
| Океания | 15 | 20 | 31 | 72 | 70 | 75 |
| Мир | 1538 | 2584 | 5065 | 38 | 45 | 61 |

Всего лишь три десятилетия тому назад около трети населения мира жила в городах. В десятилетие после 2000 г. больше половины населения станет городским, а к 2025 г. городское население составит почти две трети от мирового.

В ныне развитых странах заметный прирост доли городского населения отмечался приблизительно столетие тому назад. За время текущего пятидесятилетия (1975–2025 гг.) доля городского населения увеличивается уже незначительно, приближаясь к верхнему пределу переходной (логистической) кривой. Но зато около 90 % прироста численности городского населения происходит за счет развивающихся стран. Жители Африки и

Азии, лишь третья часть которых живет сейчас в городах, к 2025 г. также перейдут отметку в 50 %. С абсолютным преобладанием городского населения на всех континентах экосфера в целом станет другой, с относительно редким сельским населением и многочисленными городами различных размеров, включая сверхкрупные, так называемые мегаполисы. Понимание этого переходного процесса в экосфере в его взаимосвязи с деятельностью общества – одна из важнейших проблем геоэкологии как междисциплинарного направления.

Величины прироста городского населения очень сильно изменяются от города к городу и от страны к стране. Наивысшие показатели, равные примерно 5 % в год, характерны для беднейших, наименее развитых стран. В некоторых государствах (Буркина-Фасо, Мозамбик, Непал, Афганистан и др.) прирост городского населения достигал даже 7 %. Напомним, что при таком показателе численность населения города удваивается всего лишь за 10 лет!

Вследствие очень большого числа населения развивающихся стран даже небольшое увеличение показателя прироста (в %%) означает значительное приращение численности.

Городское население растет не только в развивающихся странах, если имеются особые причины для его роста. Регионом со значительным современным ростом населения городов вследствие благоприятной экономической конъюнктуры на фоне мягкого климата является, например, Северо-Запад США (штаты Вашингтон, Орегон и частично Калифорния), где он обусловлен как миграцией из других районов США, так и иммиграцией из других стран бассейна Тихого океана. Текущий ежегодный прирост числа жителей региона достигает здесь 12 % (1990-е гг.)!

Чрезвычайным, хотя и все более типичным, явлением становятся крупнейшие города (мегаполисы). Фактически во всех этих случаях мы имеем дело не с одним сверхкрупным городом, а с агломерацией городов и других населенных пунктов. Если принять за нижний уровень сверхгорода скопления населения численностью от 8 млн чел., то в 1950 г. в мире было всего два таких мегаполиса – это был Нью-Йорк с населением 12,3 млн и Лондон с 8,7 млн чел. К 1990 г. их стало 21, причем 16 – в развивающихся странах. К 2015 г. ожидается 33 мегаполиса, в том числе 27 – в развивающихся странах.

**Крупнейшие города мира, млн чел.**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 Токио (Япония) | 27,0 | 16 Карачи (Пакистан) | 9,7 |
| 2 Мехико (Мексика) | 16,6 | 17 Каир (Египет) | 9,7 |
| 3 Сан-Пауло (Бразилия) | 16,5 | 18 Париж (Франция) | 9,5 |
| 4 Нью-Йорк (США) | 16,3 | 19 Тяньцзин (Китай) | 9,4 |
| 5 Бомбей (Индия) | 15.1 | 20 Манила (Филиппины) | 9,3 |
| 6 Шанхай (Китай) | 13,6 | 21 Москва (Россия) | 9,3 |
| 7 Лос-Анджелес (США) | 12,4 | 22 Джакарта (Индонезия) | 8,6 |
| 8 Калькутта (Индия) | 11,9 | 23 Дхака (Бангладеш) | 8,5 |
| 9 Буэнос-Айрес (Аргентина) | 11,8 | 24 Стамбул (Турция) | 7,9 |
| 10 Сеул (Южная Корея) | 11,6 | 25 Лондон (Великобритания) | 7,6 |
| 11 Пекин (Китай) | 11,3 | 26 Чикаго (США) | 6,8 |
| 12 Осака (Япония) | 10,6 | 27 Тегеран (Иран) | 6,8 |
| 13 Лагос (Нигерия) | 10,3 | 28 Лима (Перу) | 6,7 |
| 14 Рио-де-Жанейро (Бразилия) | 10,2 | 29 Бангкок (Таиланд) | 6,5 |
| 15 Дели (Индия) | 9,9 | 30 Ессен (Германия) | 6,5 |

Разумеется, численность города зависит также от административного решения по выбору его границ. Например, Париж и Москва в основном ограничены кольцевой дорогой, хотя городские кварталы продолжаются и за кольцевой, в то время как Токио включает значительные города, фактически слившиеся со столицей.

Вследствие чрезвычайной геоэкологической важности и специфичности мегаполисов, приведем список тридцати наиболее крупных городов мира по состоянию на 1995 г. Эти сверхгорода и прилегающие к ним территории подвергаются значительной антропогенной нагрузке, во многих случаях в течение столетий. Степень техногенности этих территориальных систем чрезвычайно высока, а условия жизни во многих из них попросту бесчеловечны.

Помимо отдельных сверхкрупных городов возникли и так называемые конурбации, или скопления городов. В Японии на о. Хонсю городская застройка протягивается практически без перерывов от Токио до Осаки, более чем на 500 км, включая, помимо указанных городов, и крупнейший порт страны, и важный промышленный центр Нагоя, а также и другие города. На восточном побережье США конурбация захватывает не менее значительную полосу городов от Вашингтона до Бостона и включает Нью-Йорк, Филадельфию, Балтимор и др. Более подробные сведения о крупнейших конурбациях мира приводятся в прилагаемой сводке (табл. 19).

Многие города среднего размера растут быстрее, чем мегаполисы, со скоростью, заметно превышающей 5 % в год. В результате возникает весьма много городов с населением между 1

и 10 млн чел. Ожидается, что к 2015 г. в мире будет 516 таких городов по сравнению с 270 в 1990 г. Небольшие города, в которых живет около половины всего городского населения мира, также очень быстро растут. В этих городах в большей степени ощущается недостаток финансирования экологических систем и услуг, потому что во многих странах основные средства направляются в столицы и другие крупные города.

Степень антропогенных преобразований городских территорий, в особенности мегаполисов, чрезвычайно высока. Природные городские ландшафты весьма примитивны. Это парки и скверы, редко леса антропогенного происхождения и побережья морей и рек. Из фауны сохранились отдельные виды птиц и животных в очень простых и неустойчивых экосистемах. Широко встречаются немногие, толерантные к человеку виды, паразитирующие на отходах деятельности человека. Это крысы, вороны, тараканы и пр. Лишь литогенная основа остается наименее трансформированной да климат изменяется в значительно меньшей степени, чем биогенные компоненты.

Ландшафты крупных городов не могут сохраняться устойчивыми без поддержки человека. Заброшенные или малоухоженные кварталы мегаполисов представляют собой наихудший вид антропогенной пустыни.

*Таблица 19*

**Крупнейшие конурбации мира**

| Наименование и страна | Основные города конурбации | Количество элементов в конурбации | Площадь, тыс. кв. км | Население, млн чел. | Плотность, чел./кв. км | Протяженность, км |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Северо-Восточный, США | Бостон, Нью-Йорк, Филадельфия, Балтимор, Вашингтон | 40 | 170 | 50 | 295 | 1000 |
| Приозерный, США | Детройт, Кливленд, Питсбург, Чикаго | 35 | 160 | 35 | 220 | 900 |
| Калифорнийский, США | Сан-Франциско, Лос-Анджелес, Сан-Диего | 15 | 100 | 18 | 180 | 800 |
| Токайдо, Япония | Токио, Иокогама, Кавасаки, Нагоя, Киото, Осака, Кобе | 20 | 70 | 55 | 780 | 700 |
| Мидландс, Англия | Лондон, Бирмингем, Манчестер, Ливерпуль | 30 | 60 | 30 | 500 | 400 |
| Рейнский, Германия | Ранштадт, Рейн-Рур, Рур-Майн | 30 | 60 | 30 | 500 | 500 |

Природные условия, в которых города находятся, во многом предопределяют их геоэкологические проблемы. Загрязнение воздуха, характерное в зимнее время года для городов Средней Европы, Сибири, Северо-Восточного Китая, возникает благодаря инверсии температуры, вызывающей устойчивую стратификацию воздуха. Низкокачественный уголь, используемый для отопления во многих местах этих районов и выделяющий при сжигании большое количество загрязнителей воздуха, вносит свой вклад в эту проблему. Весьма высокое загрязнение воздуха в таких городах, как Лос-Анджелес, Мехико и Сантьяго, связано не только с большим количеством автомобилей в условиях инверсии температуры, но и вследствие расположения этих городов в межгорных котловинах, благоприятных для развития инверсий.

В городах умеренного пояса практически не встречается малярия не потому, что они располагаются в относительно богатых странах с высокими расходами на здравоохранение, а благодаря относительно прохладному климату, в котором возбудитель малярии не в состоянии пройти полный цикл развития.

В Джакарте природные условия города предопределяют ряд серьезных геоэкологических проблем, в том числе проблемы

качества воды. Равнинный рельеф предопределил выбор канализационной системы города, представляющей сеть открытых коллекторов, собирающих неочищенные бытовые стоки. Эта система была эффективной, когда ее построили для населения города, не превышающего полмиллиона человек. В настоящее время она не может справиться с продуктами жизнедеятельности городского населения численностью 11,5 млн человек. Загрязнения поступают не только в поверхностные, но и в подземные воды и являются серьезной опасностью при водоснабжении. Диарея, возникающая, в частности, вследствие употребления загрязненной воды, является в Джакарте причиной 20 % случаев смерти детей в возрасте до пяти лет.

Плотность населения городов – весьма репрезентативный показатель степени антропогенной нагрузки, хотя она изменяется весьма сильно в зависимости от имущественного уровня, месторасположения, традиций, транспортных и других условий. В некоторых районах Шанхая и Калькутты плотность составляет 800-1000 чел/га, что можно сравнить с густотой заселения квартир и домов в богатых странах. Плотность населения Бангкока и Сеула также весьма высока и составляет 300–400 чел./га.

С другой стороны, этот показатель для городов США обычно равен 70 чел./га и менее.

Большие города, как гигантские агломерации, так и менее крупные города-«миллионеры», – это зоны экологического бедствия различного вида и напряженности.

Геоэкологические аспекты урбанизации весьма различны в развитых и развивающихся странах. Чрезвычайно быстрый рост городов беднейших стран приводит к резко усиливающемуся давлению на окружающую среду. К тому же все системы жизнеобеспечения, без которых город не может существовать, оказываются перегруженными, а их рост не поспевает за приростом населения. К ним относятся системы водоснабжения, канализации, сбора и переработки мусора, снабжения электроэнергией и пр., а также системы образования, медицинской помощи и социального обеспечения. В результате создается обстановка, опасная для жизни и здоровья жителей городов. По крайней мере, 220 млн жителей городов не имеют источников пригодной питьевой воды. Более чем 420 млн чел., живущих в городах, не имеют доступа даже к простейшим туалетам. От 30 до 65 % городского мусора не убирается. Он постепенно накапливается, в особености в зонах, где проживает самое бедное население. Такое зоны мало напоминают город, но именно на таких территориях проживает значительная часть

населения, которое лишь условно можно назвать городским.

В развитых странах некоторые важные геоэкологические проблемы городов в той или иной степени решены. Например, во многих городах за последние десятилетия улучшилось качество воздуха и воды. В Токио в 1960-х гг. полицейские, управлявшие уличным движением, нуждались в кислородных масках. Сейчас состояние воздуха стало значительно лучше.

Городские системы потребляют, перерабатывают и превращают в отходы значительную массу воды, продовольствия и топлива (рис. 22). При этом города развитых стран отличаются повышенным потреблением всех услуг систем жизнеобеспечения. Среднестатистический житель Нью-Йорка потребляет втрое больше воды и производит в восемь раз больше мусора, чем житель Бомбея. Точно так же и уровень потребления услуг городских систем жизнеобеспечения в различных районах в пределах одного города резко различается в зависимости от уровня благосостояния его жителей. В этом отношении невозможно сравнить, например, находящиеся в одном и том же городе Рио-де-Жанейро поселения на склонах холмов («фавелы») и кварталы вдоль роскошных пляжей побережья Атлантики, таких как Копакабана или Ипанема.

Некоторое улучшение геоэкологического состояния городов развитых стран благоприятно для их жителей. Вместе с тем эти города оказывают намного большее неблагоприятное воздействие на состояние экосферы на уровне континентов или мира в целом. Расходование природных ресурсов и эмиссия парниковых газов на душу населения городов развитых стран намного превышает соответствующие показатели для беднейших городов развивающихся стран, так что, в конечном итоге, жители городов развитых стран вносят весьма заметный вклад в усиление глобальных геоэкологических проблем.

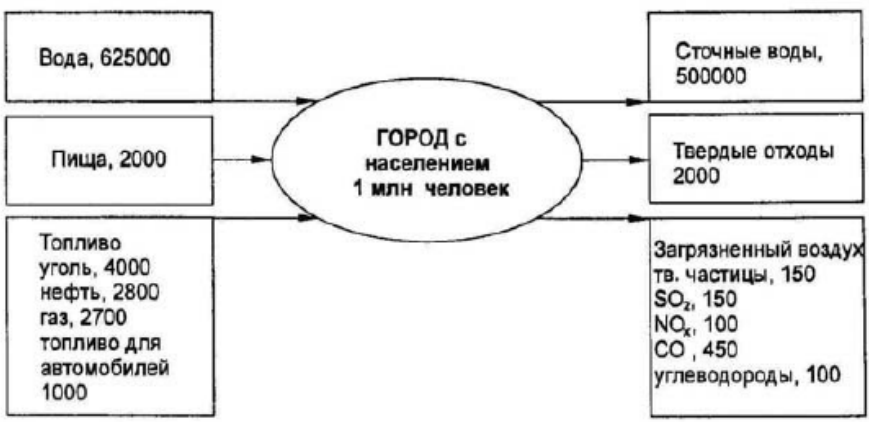

**Рис. 22.** Схема метоболизма города с населением 1 млн человек (т в сутки) (по Г. В. Стадницкому и А. И. Родионову)

Говоря о геоэкологических проблемах городов, не следует забывать об их роли как центров, влияющих на антропогенную трансформацию значительных прилегающих территорий. Условия и причины могут быть различными. В Африке, где в отдельных странах до 90 % населения все еще готовит себе пищу на дровах, все пригодные лесные ресурсы в радиусе 50–80 км от крупных городов истощены. Из-за недостатка дров беднейшие семьи в городах многих стран Африки готовят себе горячую еду только один раз в день.

В зонах высокого загрязнения воздуха вследствие работы предприятий промышленности или энергетики, растительность трансформирована или полностью уничтожена на десятки километров вокруг города или по направлению вдоль преобладающих ветров. Такова ситуация в Норильске и окрестностях, где весьма уязвимая естественная растительность практически уничтожена на расстоянии до 100 км от промышленных предприятий.

Все крупные города, располагающиеся на реках, вносят весьма заметный вклад в загрязнение воды этих рек, вплоть до полного уничтожения жизни в воде на многие километры вниз по течению. Отмечено много ситуаций, в особенности в тропиках, когда в реке, протекающей сквозь большой город, концентрация патогенных бактерий увеличивается на несколько порядков.

Несколько сотен крупных городов мира и тысячи более мелких вызывают локальное, пятнистое ухудшение состояния окружающей среды. Взятые вместе, они в очень заметной степени влияют на глобальную ситуацию. Это весьма типичный пример универсальной геоэкологической проблемы, имеющей локальное, но часто встречающееся распространение, и потому не менее важной. Как пишет один из американских исследователей, «отрицательное воздействие домашнего загрязнения воздуха и выплескиваемых с водой отходов на детскую смертность и ожидаемую продолжительность жизни женщин имеет не меньшие глобальные размеры, чем, скажем, разрушение тропических лесов, и с точки зрения неотложных задач оно может оказаться наиболее срочной из всех общемировых экологических проблем».

В этой связи, наряду с «зеленой» программой, адресованной на глобальные проблемы, такие как изменение климата, озоновый слой или биологическое разнообразие, ряд международных и национальных организаций и экспертов выдвигают «коричневую» программу, которая включала бы

проблемы бедности, загрязнения окружающей среды и экологической безопасности в городах. Такие программы решают практические вопросы улучшения качества жизни в городах, включая совершенствование систем водоснабжения, канализации, удаления и переработки отходов.

# X.3. Геоэкологические аспекты энергетики

Производство и использование энергии – важнейшая сторона деятельности человека. Без энергии невозможны практически все другие его действия: извлечение и переработка невозобновимых природных ресурсов, производство промышленной продукции, транспорт, сельское хозяйство, освещение, отопление, здравоохранение и т. д., и т. п. Эволюция общества и цивилизации происходила и происходит в тесном взаимодействии с развитием энергетики.

Энергия – важнейший товар в международной экономике, а надежное обеспечение стран источниками энергии стало важнейшей геостратегической проблемой XX! века. Глобальные энергетические стратегии и проблемы системно взаимосвязаны с основными общемировыми вопросами, такими как рост численности населения, увеличение имущественных различий между отдельными слоями общества, распространение бедности, дефицит продовольствия и воды, состояние здоровья и здравоохранения, неудовлетворительное качество воздуха в городах, изменение климата, деградация экосистем, их асидификация, распространение ядерного оружия и др. Из этого следует, что вопросы энергетики должны решаться таким образом, чтобы не ухудшилось состояние других глобальных проблем.

История развития мировой энергетики поучительна. Первейшим источником энергии для любого вида деятельности человека был он сам, его мускульная энергия. Затем изобретение способов добывания огня для сжигания древесины обеспечило человеку горячую пищу, отопление жилища, новые материалы, такие как бронза и железо. Использование энергии домашних животных предопределило прогресс в сельском хозяйстве, транспорте и промышленности. Изобретение пара как рабочего вещества явилось важнейшим технологическим фактором промышленной революции и способствовало освоению таких энергетических ресурсов, как уголь, нефть и природный газ.

С тех пор и до настоящего времени наша цивилизация основана на использовании горючих ископаемых.

Соотношение величин коммерческого потребления энергии по источникам ее происхождения на 1997 г. показано в табл. 20.

*Таблица 20*

**Соотношение источников энергии в мире (в %)**

| | Нефть | Газ | Уголь | Атомная энергия | Гидро- и прочие возобно-вим. | Сумма |
|---|---|---|---|---|---|---|
| В %% | 36 | 20 | 24 | 6 | 14 | 100 |

Общая мощность производимой или же потребляемой в мире энергии составляет величину порядка 10 тераватт, или $10^{10}$ Вт и продолжает увеличиваться. Из этого количества около 80 % энергии получают благодаря сжиганию нефти, угля и природного газа. По всей вероятности, этот показатель сохранится на ближайшие десятилетия, а количество производимой энергии будет все еще увеличиваться. Объем и доля атомной энергии, вероятно, останется на ближайшую перспективу скромной. Суммарная величина производимой гидроэлектроэнергии будет увеличиваться, но ее доля в производстве и использовании энергии останется небольшой.

Другие, преимущественно возобновимые, источники энергии, такие как энергия солнца, ветра, морских приливов, волнения воды, разности температур поверхностных и глубинных слоев воды океана, специально выращиваемой биомассы, геотермальная энергия, и прочие, несмотря на некоторые оптимистические прогнозы, не спешат занимать сколько-нибудь значительное место. Экономические и экологические затраты на производство энергии из возобновимых источников неуклонно снижаются, и имеются заметные достижения в их практическом использовании, хотя доля этих источников в мировом энергетическом балансе все еще невелика.

Производство и потребление энергии в мире, за редкими исключениями, неуклонно росли, в особенности в последние десятилетия. За 20 лет, с 1971 по 1991 гг., потребление энергии в мире увеличилось на 45 %. Соответственно, расходовались и запасы горючих ископаемых. Тем не менее, благодаря успешным поискам новых месторождений и их разведке, запасы продолжали увеличиваться. По состоянию на 1990 г., при современном уровне разведанных запасов и ежегодной добычи угля хватило бы на 209 лет, нефти на 45 лет и природного газа на 52 года.

Производство и использование основных источников тепловой энергии практически всегда сопровождаются неблагоприятными последствиями, влияющими на экосферу и на здоровье людей. Соответственно, ожидаемый дальнейший рост производства и использования энергии приведет к еще большему усилению экологических проблем. Геоэкологические ограничения могут стать столь серьезными, что они станут диктовать основные

элементы стратегии энергетики. В частности, мы уже обсуждали возможную ситуацию, когда не дефицит горючих ископаемых, а значительное ухудшение состояния экосферы приведет по необходимости к трансформации глобальной энергетики на основе возобновимых и экологически более чистых источников энергии. Геоэкологические вопросы энергетики уже излагались в соответствующих разделах книги, и здесь лишь кратко отметим основные проблемы.

Опора в энергетике на использование горючих ископаемых и, соответственно, чрезвычайно высокая их доля в производстве энергии предопределяет специфический набор связанных с этим геоэкологических проблем. По объему выбросов загрязняющих веществ в атмосферу тепловая энергетика является наиболее крупной отраслью промышленности (27 % от общего количества выбросов всей промышленностью России). Составляющими выбросов в основном являются твердые частицы (31 %), диоксид серы (42 %), окислы азота (24 %).

Современная ТЭЦ мощностью 1000 мВт выбрасывает в воздух за год 165 000 т газов и 500 000 т твердых частиц. Тепловое загрязнение составляет около 60 % производимой энергии. Каждая ТЭЦ нуждается в 4 кв. км площади, не считая площадей для складов, подъездных путей, градирен, линий электропередачи, свалок и пр.

Загрязнение воздуха, ассоциирующееся со сжиганием нефти, угля и газа, неблагоприятно влияет на экосистемы и здоровье людей. Из трех основных источников тепловой энергетики более всего загрязнений и парниковых газов производится и выбрасывается в атмосферу в результате сжигания угля и наименьшее – при сжигании газа. Кислотные осадки, возникающие как следствие функционирования тепловых электростанций, приносят ущерб экосистемам – озерам, рекам, лесам, а также и урожаю, строениям, памятникам материальной культуры. Современная энергетика является важнейшим фактором накопления в атмосфере парниковых газов и, следовательно, наиболее важной причиной изменения климата.

Атомные электростанции несут с собой высочайший риск катастрофы в случае выделения в экосферу радиоактивных изотопов. Как показывает печальный опыт Чернобыльской АЭС, радиоактивное загрязнение вследствие взрыва всего лишь одного атомного реактора нанесло невосполнимый ущерб здоровью людей, состоянию естественных и агроэкологических систем, по сути дела, вывело из нормального использования чрезвычайно большую территорию в пределах Белоруссии, России и Украины.

В атомной энергетике остаются нерешенными проблемы

хранения и переработки радиоактивных отходов деятельности АЭС. Подошли также сроки выведения первых атомных станций (не только в России, но и в других странах мира) из эксплуатации. Поскольку неизвестно, что с ними делать дальше, они подлежат консервации. Как это сделать безопасно и эффективно – пока еще плохо проработанная задача.

Основное направление в стратегии снижения геоэкологических проблем энергетики – повышение роли возобновимых и экологически более чистых источников энергии. Однако абсолютно чистых источников практически не бывает.

Как уже обсуждалось в другой главе, гидроэлектростанции приносят свой специфический набор геоэкологических проблем, таких как потери затапливаемой земли, зачастую весьма ценной, переселение населенных пунктов из зоны затопления, изменения водных и наземных экосистем и их плодородия, а в тропических и экваториальных районах и усиление частоты и серьезности заболеваний многими тропическими болезнями, ассоциирующимися с водой (малярия, шистосоматоз, речная слепота и др.)

Непосредственное использование солнечной энергии также не оказывается полностью оправданным с экологической точки зрения: аккумуляторы солнечной энергии различных типов часто требуют большой территории. Сбор солнечной энергии зависит также от метеорологических и, следовательно, физико-географических факторов: облачности, угла солнца над горизонтом и пр., а потому он эффективен преимущественно в тропических районах со значительной продолжительностью солнечного сияния. Если в процессе производства энергии используются фотоэлектрические батареи, то в одном или нескольких звеньях технологической цепочки их производства возникает значительное загрязнение окружающей среды.

Опосредованное использование солнечной энергии, в природе проявляющейся в виде ветра, волнения, приливов, биомассы и пр., столь же несвободно от геоэкологических обстоятельств. Например, ветровые электростанции вызывают неприемлемые шумовые эффекты и потому должны располагаться вдали от населенных пунктов; энергия морских волн значительна, но задача ее концентрации для производства электроэнергии технически очень не проста.

Использование геотермальной энергии влечет за собой значительное загрязнение воды, воздуха и земли. Геотермальная электростанция мощностью 1000 мВт выпускает в атмосферу $10^4$—$10^5$ т газов в год, загрязняет $10^5$—$10^8$ $м^3$ воды и требует значительной площади (до 20 $км^2$ на одну станцию).

Энергетические системы состоят из двух равноценно важных частей: подсистемы, касающейся предложения энергии (supply), и подсистемы спроса на нее (demand). Мы кратко обсуждали некоторые важные вопросы, касающиеся аспектов предложения. Для эффективного функционирования систем энергетики не менее важны проблемы спроса. Экономия энергии играет здесь важнейшую роль.

Больше половины производимой ежедневно энергии теряется вследствие технических особенностей энергетических систем или недостаточно эффективной деятельности человека. Экономия энергии должна быть частью стратегии снижения расхода энергии на единицу продукта, причем социально-экономическое развитие или привычный стиль жизни людей, по крайней мере, не должны ухудшаться. Мы уже указывали на то, что после двух энергетических кризисов 1970-х гг. эффективность использования энергии в странах с капиталистической экономикой значительно повысилась. Меры по экономии энергии и повышению ее эффективности менее успешны в странах с переходной экономикой и развивающихся станах, где промышленность зачастую расходует в 2–5 раз больше энергии на ту же величину продукции вследствие того, что оборудование, технологические процессы, транспортные системы и пр., как правило, устарели и нуждаются в модернизации.

Обсуждая стратегии выхода человечества из глобального геоэкологического кризиса, мы говорили также о необходимости и принципиальной технической возможности повысить в обозримом будущем эффективность использования энергии на порядок, то есть примерно в 10 раз. Такие действия вполне соответствовали бы осуществлению одной из обсуждавшихся нами ранее переходных стратегий, направленных на решение глобального геоэкологического кризиса.

Из этого краткого обзора основных геоэкологических вопросов энергетики следует, что энергетика – одна из сложнейших природно-технических систем.

# X.4. Геоэкологические проблемы промышленности

Промышленность – это область вещественного материального производства, создающего орудия производства и основную часть предметов потребления. Разнообразная деятельность промышленности и ее геоэкологические последствия могут быть схематизированы в виде производственно-экологической пирамиды, несколько похожей на экологическую пирамиду (рис. 23).

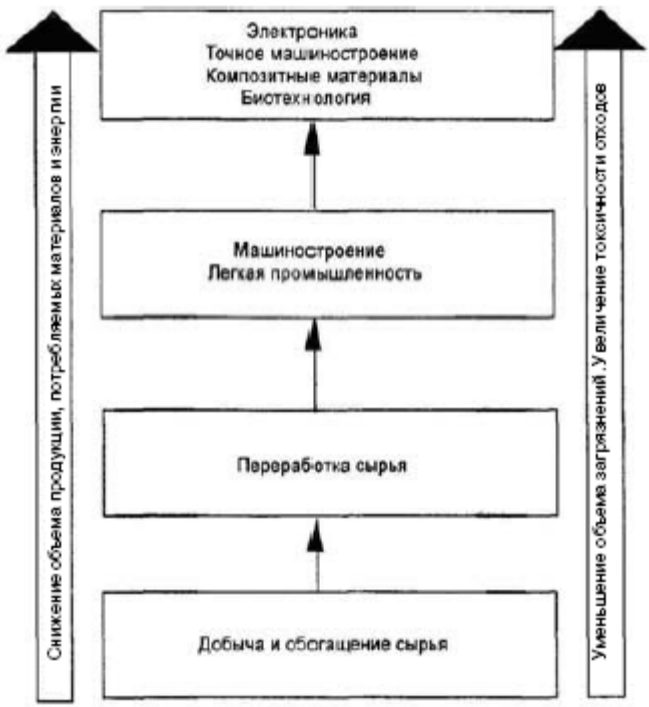


**Рис. 23. Соотношение типов промышленности, использования природных ресурсов и загрязнения окружающей среды**

В основании пирамиды лежит *добыча сырья,* преимущественно минерального. Известно, что около 98 % добываемого на этом этапе сырья идет в отходы в виде пустой породы, руды низкой концентрации, грунта, нестандартной древесины и пр.

Только 2 % сырья достигает следующего уровня, который можно назвать уровнем *переработки* сырья. В результате него

получают промежуточную продукцию, например, железо, сталь, прокат различного сортамента, цветные металлы, разнообразные химические вещества, различные пиломатериалы и пр.

Промежуточная продукция используется на следующей стадии, условно называемой машиностроением и легкой промышленностью, производящей разнообразные орудия труда и предметы потребления. На этой стадии доля полезного продукта от исходного количества сырья еще более сокращается.

Наконец, на высшей стадии промышленного производства мы имеем дело с современной индустрией высокой сложности и точности, производящей аппараты электроники и прецизионного машиностроения, композитные материалы, продукты биотехнологии и прочие товары так называемой «высокой технологии» (high-tech). На этой стадии объем используемых материалов минимален, главные вложения оказываются в виде личного опыта персонала, передовой технологии и дорогостоящих комплектующих. Одна из тенденций современной индустрии в том, что значительная часть промышленности высокой сложности и точности перестала продавать свою продукцию. Продукция сдается в аренду, а компания-изготовитель обеспечивает ее обслуживание. Так происходит переход к стадии услуг, и роль услуг имеет тенденцию к росту.

Стадия «высокой технологии» есть результат современной научно-технической революции. Зачастую при чтении литературы создается ошибочное впечатление, что человечество, или, по крайней мере, развитые страны, целиком и полностью перешли на эту стадию. На самом деле, все четыре стадии необходимы и нуждаются в развитии и совершенствовании, а без низшей стадии невозможно достичь более высокой. По-прежнему необходим металл, энергия, продукция химической промышленности и пр., без них не достичь высот «высокой технологии».

В соответствии со стадиями промышленного производства (от «сырьевой» до «high-tech») возникают определенные тенденции изменения геоэкологических проблем: а) объем извлекаемых ресурсов и перерабатываемого сырья снижается; б) объем загрязняющих отходов, сбрасываемых в окружающую среду, сокращается; в) однако токсичность сбросов резко увеличивается, так что результирующее загрязнение может и не уменьшиться.

Экологические воздействия промышленности охватывают всю технологическую цепочку от добычи сырья и первичной обработки через собственно процессы производства до получения конечного продукта и размещения отходов. Промышленность – весьма важный потребитель природных ресурсов (металлических и неметаллических руд, продуктов сельского хозяйства, энергии

различных видов). В результате индустриальных процессов возникают запланированные или неожиданные сбросы вредных газов, твердых отходов и разнообразных жидких стоков. Это может случиться в процессе производства или позднее при использовании продукта. Некоторые из отходов и продуктов промышленности весьма токсичны и могут нанести значительный ущерб.

Отрасли промышленности, в наибольшей степени загрязняющие атмосферу, – это теплоэнергетика, черная и цветная металлургия:

Энергетика(тепловые электростанции) 43%
Черная и цветная металлургия 23%
Нефтеперерабатывающая промышленность 11 %
Прочие отрасли 23%

Геоэкологические последствия в различных секторах промышленности показаны в таблице.

Для борьбы с неблагоприятными геоэкологическими последствиями промышленного производства существует два принципиальных подхода:

а) управление загрязнениями на конечной стадии производства;

б) системная перестройка производственного цикла.

По сути дела, при стратегическом подходе типа а) управление загрязнениями осуществляется *после* завершения технологического цикла, в виде как бы дополнения к нему. Этот подход носит название «на конце трубы». Переработка загрязнений «на конце трубы», как правило, не сокращает объем или массу загрязнителей. Она попросту перемещает отходы, после их обработки, из одной среды в другую, более удобную при данном технологическом цикле, например, из воздуха в землю. Во многих случаях обработка отходов перемещает эмиссии, выпускаемые в воздух, в водную среду. Такого рода операции нежелательны в долгосрочном плане, хотя и могут казаться приемлемыми как временная мера. К сожалению, на самом деле обработка отходов «на конце трубы» чрезвычайно широко распространена, хотя по сути и не решает экологические проблемы. Такая технология носит название «малоотходная», или, более того, «безотходная», что, как мы видели, неверно.

*Таблица 21*

**Геоэкологические воздействия различных отраслей промышленности**

| Вид промышленности | Сырье | Воздух | Вода, количество | Вода, качество | Твердые отходы и почва | Риск | Прочие проблемы |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Текстильная | Шерсть, синтетика, химические вещества | Пыль, запахи $SO_2$, HC | Использование воды | БПК, взвеси, соли, токсичные металлы, сульфаты | Промышленные илы | | Шум машин, вдыхание пыли |
| Кожевенная | Шкуры, химические вещества | Запах | Использование воды | БПК, взвеси, сульфаты, хрома | Отстой с содержанием хрома | | |
| Черная металлургия | Железная руда, лом известняк | $SO_2$, $NO_x$ пыль, HC, CO, $H_2S$, кислотн. туманы | Использование воды, промывка скрубберов | БПК, взвеси, нефть, металлы, кислоты, фенол, сульфиды, сульфаты, аммиак, цианиды | Шлак, отходы, промышленные илы | Риск взрывов и пожаров | Аварии, контакт с токсичными веществами, пыль, шум |
| Нефтепереработка | Неорганические химические вещества | $SO_2$, $NO_x$ HC, CO, запахи, пыль | Вода для охлаждения и промышленного процесса | БПК, ХПК, нефть, фенол, хром, др. | Промышленные илы, использованные катализаторы, смолы | Риск взрывов и пожаров | Риск аварий, шум |
| Химическая | Неорганические и органические вещества | Органич. химические вещества, запахи, фреоны, | | Органические химические вещества, тяжелые металлы, взвеси, цианид, ХПК | | Риск взрывов | Возможен контакт с токсичными и опасными веществами |
| Цветная металлургия | Боксит | Фтор, CO, $SO_2$, пыль | Вода для промывки скрубберов | После промывки скрубберов со фтором взвесями, HC | Промышленные илы, облицовка (углерод и фтор) | | |
| Микроэлектроника | Химические вещества (например растворители), кислоты. | Токсичные газы | | Отравление почв и грунтовых вод токсичными веществами. Случайные сбросы токсичных веществ | Илы | | Риск контакта с токсичными веществами |
| Биотехнология | | | | Использованные очистные воды, измененные биологические виды | Очистка отравленных почв | | Опасность попадания микроорганизмов в окружающую среду |

При стратегическом подходе типа б) в качестве долгосрочной и скорее всего недостижимой на 100 % цели, ставится задача добиться такого производства, которое было бы полностью замкнутым, подобно космическому кораблю в продолжительном, автономном полете. С этих позиций существует три класса технологических подходов, требующих системной перестройки промышленного производства для действительного снижения объема, массы и токсичности отходов, сбросов и эмиссий.

1) Экономия сырья, материалов и энергии.

К этой категории относятся изменения производственного цикла, в том числе такие мероприятия, как внедрение более экологически и экономически эффективных производственных процессов, использование новых материалов, а также такие мероприятия, как повышение теплоизоляции производственных помещений, установка более эффективного освещения, применение более легких грузовиков и пр.

2) Увеличение степени использования промышленного продукта.

К этим мерам относится организация вторичного рынка таких использованных товаров, как автомобили, одежда и обувь,

электроника, мебель, книги и многих других, сбор и переработка утиля (лом цветных и черных металлов, стекло, бумага, использованная упаковка и пр.), при соответствующем сокращении производства новых товаров.

3) Извлечение полезных продуктов из промышленных отходов.

Первой этим стала знаменита американская корпорация 3М, получающая значительный доход от извлечения побочных продуктов. Ее лозунг «Pollution Prevention Pays» (PPP), который можно перевести как «Предотвращение загрязнения платит за себя», широко известен в деловом мире.

Имеются и более сложные, системные примеры экономически целесообразной борьбы с промышленным загрязнением.

В г. Калундборг (Дания) имеются три основных, первичных промышленных предприятия – нефтеперегонный завод, тепловая электростанция (ТЭЦ), работающая на угле, и фармацевтическая фабрика. Объединив эти предприятия в систему, стало возможным значительно сократить их отходы, не увеличив в то же время стоимость продукта. ТЭЦ снабжает попутным теплом фармацевтическую фабрику, а также рыбоводческое хозяйство и теплицы. Зола с электростанции продается цементному производству, а сульфат кальция, улавливаемый установкой по десульфуризации отходов, поступает к изготовителю обоев. Нефтеперегонный завод снабжает ТЭЦ отходящими углеводородами как дополнительным топливом, а сера как продукт десульфуризации нефтепродуктов поставляется химической компании, производящей серную кислоту. Наконец, органические отходы фармацевтического предприятия потребляются рыбоводческим хозяйством и используются как удобрение в теплицах.

Несмотря на то что такие комплексы экологически и, вероятно, экономически целесообразны, пример Калундборга, насчитывающего уже примерно 30 лет опыта, не получил широкого распространения. По-видимому, локальная координация усилий различных производств в деле улучшения состояния окружающей среды слишком сложна. Казалось бы, система централизованного планирования должна способствовать развитию подобной кооперации. Однако опыт СССР и других подобных стран не был более успешен, чем опыт стран с рыночной экономикой. В чем, по-видимому, центрально-плановая экономика показала преимущество, это в совместном производстве электричества и тепла для крупных городских районов и даже целых городов.

Исследования Департамента энергетики показали

возможность сокращения промышленных отходов в США на 1,3 млрд т за период между 1996 и 2010 гг. Потенциальная выгода от этого может увеличить валовый продукт страны за тот же период на 1936 млрд долларов (в ценах 1992 г.). Одновременно возрастет занятость на 16 млн чел. в год в течение 15 лет. Таким образом, национальная политика сокращения промышленных отходов может принести как экологическую, так и экономическую выгоду.

# X.5. Геоэкологические аспекты транспорта

Услуги транспорта играют важную роль в экономике и повседневной жизни людей. Транспорт – один из важнейших компонентов общественного и экономического развития, поглощающий значительное количество ресурсов и оказывающий серьезное влияние на окружающую среду. Использование практически всех видов транспорта на всех континентах возрастает и по объему перевозимых грузов, и по количеству тонно-километров, и по числу перевозимых пассажиров. Некоторые виды транспорта уходят в прошлое (например, морские пассажирские линии дальнего плавания, или гужевой транспорт в развитых странах). Однако, во многих странах все еще используется тягловая сила животных, передвижение на велосипедах или пешком. Вместе с тем увеличивается использование дальней авиации и трубопроводов при относительно стабильном использовании железнодорожного транспорта.

Но особенно большую роль играет постоянное и неуклонное увеличение использования автомобилей для перевозки грузов и как средство личного транспорта. Этому сопутствует рост автомобильных, в том числе скоростных, дорог. Около половины добываемой нефти в мире используется для автомобильного транспорта, рост которого значительно опережает рост населения. Увеличение числа автомобилей неразрывно связано с обсуждавшимися выше процессами урбанизации. Многочасовые пробки стали обычной картиной на улицах многих городов мира. Не лучше ситуация и в России, а количество автомобилей в Москве в несколько раз превышает допустимое для имеющейся сети городских дорог.

Транспорт – очень важный неблагоприятный фактор состояния окружающей среды:

Во-первых, почти все виды транспорта загрязняют окружающую среду, в особенности воздух, а также и воду, и вызывают значительный шум и вибрацию.

Во-вторых, поглощается много земельных ресурсов для транспортной инфраструктуры – автомобильных и железных дорог, морских и речных портов, трубопроводов, аэропортов и пр. и связанных с ними складов, вокзалов, причалов и т. д. Транспортная инфраструктура создает значительные по площади техногенные ландшафты.

В-третьих, расходуется значительное количество природных ресурсов, затрачиваемых на производство автомобилей и

сооружение элементов транспортной инфраструктуры.

В-четвертых, все виды транспорта представляют серьезную опасность для жизни, здоровья и имущества людей.

Загрязнение воздуха – наиболее серьезная геоэкологическая проблема, ассоциированная с транспортом. В странах Организации экономического сотрудничества и развития (OECD) эмиссия в воздух от автомобилей увеличилась за период 1975–1990 гг. на 20–75 %. В развивающихся странах этот показатель выше. В Москве эмиссия выхлопных газов автомобилей составляет не менее 70 % всего загрязнения воздуха. От 40 до 70 % оксидов азота, от 70 до 90 % окиси углерода (CO) и не менее 50 % свинца в атмосфере вызваны выхлопом автомобилей. Последствия загрязнения воздуха становятся важнейшей глобальной геоэкологической проблемой.

Загрязнители воздуха, непосредственно продуцируемые автомобилями, такие как окись углерода, оксиды азота, углеводороды или свинец, главным образом накапливаются по соседству с источниками загрязнения, то есть вдоль шоссейных дорог, улиц, в тоннелях, на перекрестках и пр. Таким образом, создаются *локальные* геоэкологические воздействия транспорта.

Часть загрязнителей транспортируется на большие расстояния от места эмиссии, трансформируется в процессе переноса и вызывает *региональные* геоэкологические воздействия. Наиболее распространенным процессом этой категории является асидификация, обсуждаемая более детально в разделе V.4.

Двуокись углерода и другие газы, обладающие парниковым эффектом, распространяются на всю атмосферу, вызывая *глобальные* геоэкологические воздействия.

Вследствие значительных воздействий транспорта на локальном, региональном и глобальном уровнях необходимо стремиться к осуществлению следующих направлений координированной общемировой стратегии как компоненты устойчивого развития.

– Потребление горючих ископаемых для транспорта должно быть сокращено насколько возможно.

– Должны быть установлены основанные на передовой технологии общемировые стандарты выбросов в атмосферу для всех видов транспорта.

– Каждой стране следует разработать и осуществлять программу контроля эмиссии всех источников и видов транспорта.

– Совершенствовать и развивать надежную и общедоступную систему общественного транспорта.

– При планировании развития транспортных систем

использовать системный подход, направленный на комплексное решение экологических проблем. Устранять причины, а не следствия геоэкологических проблем на транспорте.

Общая цель в системном управлении транспортом заключается в нахождении оптимального соотношения между обеспечением потребностей общества и снижением загрязнения окружающей среды. Стратегии управления будут зависеть от локальных ситуаций и потому будут различными для конкретных стран, регионов и городов.

# X.6. Геоэкологические аспекты сельского хозяйства

Сельское хозяйство – наиболее распространенный антропогенный фактор преобразования экосферы, или, иными словами, глобальных изменений. Это важнейшая система жизнеобеспечения общества: сельское хозяйство обеспечивает 98–99 % массы продуктов питания людей на Земле, в том числе 87 % белкового питания. Поэтому чем выше численность населения и больше его потребности, тем больше роль сельского хозяйства и тем значительнее его воздействие на экосферу.

Сельскохозяйственные системы, как земледельческие, так и животноводческие, занимают в мире около 50 млн кв. км, или 38 % свободной от льда суши. Из них пашня занимает около 30 % и пастбища – 70 % площади.

Разнообразие типов сельскохозяйственных систем огромно. Главным образом, оно зависит как от природных условий, так и от особенностей применяемых технологий. Поэтому сельскохозяйственные системы называют также агроэкосистемами. В простейших системах земледелия агротехнические операции сводятся последовательно к несложной подготовке почвы к посеву, заделыванию зерна во влажную почву, сбору того, что выросло, переработке урожая и сохранению части его в качестве семян для следующего сельскохозяйственного года. С другой стороны, в сложных системах уровень технологии чрезвычайно высок. Например, в польдерах Нидерландов осуществляется управление оптимальным режимом развития растений. Уровень капиллярной каймы грунтовых вод регулируется таким образом, чтобы корни культурных растений постоянно находились в этой зоне, не выше и не ниже, а питательные вещества в почве были бы доступны растению в необходимом, но не чрезмерном количестве. Соответственно, и урожаи, получаемые в различных агроэкосистемах, разнятся в десятки раз.

Не менее велико разнообразие животноводческих систем, в зависимости от природных и хозяйственных факторов. Наконец, существует большое количество комбинаций типов земледелия и животноводства.

Несмотря на разнообразие, сельскохозяйственные системы отличаются одной общей особенностью: все они оказали и продолжают оказывать глубокое воздействие на экосистемы и ландшафты. В процессе развития агроэкосистем преобразуется

растительность: от естественного покрова – к пашне или пастбищу. В земледельческих системах естественный растительный покров, часто многоярусный, замещается на монокультуру. Система коренным образом трансформируется и упрощается. При введении орошения изменяется и тип водного режима: от обычно непромывного к промывному.

Как и земледелие, животноводство имеет много разнообразных форм в связи с различиями природных условий и уровней развития общества. В животноводческих агроэкосистемах геоэкологические изменения более постепенны, но не менее глубоки. Не случайно, что одна из пробем геоэкологии – каким было исходное, доантропогенное состояние африканской саванны, поскольку она постепенно трансформировалась под влиянием многотысячелетнего и весьма интенсивного выпаса скота. В засушливых районах мира основная экологическая проблема пастбищного скотоводства – постепенное истощение пастбищ при их перегрузке с последующим уничтожением растительного и почвенного покрова, то есть прогрессирующее антропогенное опустынивание.

В умеренном поясе преобладающее там пастбищно-стойловое животноводство также приносит немало геоэкологических проблем, связанных с загрязнением почвы и воды отходами животноводства. Мы уже говорили о проблеме накопления навоза в Нидерландах в связи с понятием потенциальной емкости территории. Эта проблема характерна для всех районов интенсивного пастбищно-стойлового животноводства.

Естественные системы отличаются высокой степенью замкнутости баланса органического вещества и других компонентов. Разность между приходной и расходной частями баланса вещества в природной системе за год не превышает 1 %, а обычно меньше. За счет этой малой доли и происходит направленная эволюция естественных систем. В сельскохозяйственных же системах цикл вещества разомкнут: вещество забирается человеком из системы в виде урожая, а семена, органические и минеральные удобрения, а также и пестициды, в нее вносятся. Вынос вещества составляет десятки процентов (обычно 40–80 %) от годовой продукции биомассы. При этом чем продуктивнее агроэкосистема, тем больше отчуждение продукции и тем система более неустойчива. Таким образом, система коренным образом трансформируется.

Изменяются и физические процессы. Водная и ветровая эрозия почв усиливаются на один-три порядка. Почва уплотняется под воздействием сельскохозяйственных машин и орудий. Структура теплового баланса изменяется вследствие изменения

как величины альбедо, так и затрат на эвапотранспирацию. Соответственно, изменяется и водный баланс, и режим влаги в почве.

Биологические особенности, такие как биомасса, ее прирост, трофические соотношения, видовой состав, включая микроорганизмов и беспозвоночных и пр., коренным образом меняются.

Вследствие эволюции земледелия и животноводства сокращается сложность структуры ландшафтов, их устойчивость снижается и может поддерживаться только благодаря действиям человека.

Геоэкологические проблемы сельского хозяйства относятся к категории универсальных, то есть встречающихся в мире повсеместно. Они продукт некоординированных действий миллионов крестьян. Главная задача каждого хозяина – максимизировать урожай, сохраняя в то же время (а по возможности и повышая) естественное плодородие почв. Таким образом, они, каждый на своем поле, ведут постоянную и многовековую работу по достижению устойчивого сельского хозяйства. Результаты их действий, сложенные вместе по континентам и миру в целом, имеют глобальное значение.

Не все в мире в процессе развития устойчивого сельского хозяйстве было успешным. Пахотные площади увеличивались, но во многих случаях вследствие ухудшения состояния агроэкосистем снижалась урожайность. Значительная часть земель безвозвратно потеряна для сельского хозяйства в результате водной и ветровой эрозии почв, их засоления, заболачивания и антропогенного опустынивания. Общая площадь безвозвратно потерянных и сильно деградированных земель находится в пределах 15 млн кв. км (11 % свободной от льда территории мира), то есть сравнима с современной площадью пашни мира. Еще на 6 млн кв. км (5 % территории мира) биологическая продуктивность значительно понижена в результате деятельности человека. Деградация как природных систем, так и агроэкосистем продолжается.

Сельское хозяйство оказывает существенное влияние на водный режим и водный баланс как небольших территорий, так и крупных, масштаба континентов или всего мира. Как правило, увеличивается поверхностный сток; соответственно, снижается подземный сток и запасы влаги в почве. О решающей роли сельского хозяйства в многократном увеличении эрозии почвы уже говорилось выше.

Как уже обсуждалось ранее, деградация почв и снижение биологической продуктивности – одна из важнейших, может быть,

наиважнейшая геоэкологическая проблема, потому, в частности, что снижение биопродуктивности сопровождается неуклонным ростом потребностей населения мира в продуктах питания.

Выше уже отмечалось, что растущий спрос на продовольствие может быть удовлетворен двумя путями: расширением пахотных площадей и интенсификацией сельского хозяйства. В обоих случаях неизбежно усиление геоэкологических проблем вследствие ухудшения состояния земель и повышения транспорта наносов и химических веществ. Таким образом, истинная стоимость продуктов сельского хозяйства (с включением геоэкологических потерь и затрат в величину стоимости) на перспективу будет возрастать.

# Часть V
# Выживание человечества?

Рост численности населения и опережающий его рост потребностей общества вызывают общемировые задачи обеспечения человечества продовольствием необходимой калорийности и состава, водой приемлемого количества и качества, территорией, обеспечивающей многие аспекты деятельности человека, энергией, не вызывающей глобальные геоэкологические кризисы, продуктами индустриальной деятельности, не приводящей к неприемлемому уровню загрязнения экосферы. Эти потребности неуклонно возрастают, переводя экосферу из кризисного, но все же устойчивого состояния к неустойчивому, а при дальнейшем развитии неустойчивости – и к глобальной катастрофе.

Все эти и подобные потребности удовлетворяются благодаря надежному функционированию экосферы и ее процессов, таких как глобальные биогеохимические циклы, глобальный гидрологический цикл, глобальный энергетический баланс и его географическое распределение, синтез и деструкция органического вещества, системы циркуляции атмосферы и Мирового океана и др. Значительная часть нужд человечества обеспечивается также благодаря добыче и переработке невозобновимых минеральных ресурсов (нефти, угля, металлов и др.).

Из обсуждений в предшествующих главах можно заключить, что по отношению к интересам и задачам человечества, в масштабах времени порядка нескольких поколений, *экосфера выполняет четыре основные функции.*

1. Устойчивое поддержание систем жизнеобеспечения на Земле.

2. Устойчивое поглощение и переработка продуктов жизнедеятельности человеческого общества.

3. Устойчивое воспроизводство возобновимых природных ресурсов (преимущественно биологических).

4. Обеспечение невозобновимыми (преимущественно минеральными) природными ресурсами.

Последняя из вышеупомянутых функций целиком вызвана деятельностью человека. Она чужда природе, и ее усиление вызывает рост неустойчивости экосферы. Первые три функции органически присущи экосфере и, в определенных пределах, устойчивы. При увеличении антропогенной и (или) естественной

нагрузки, с ее выходом за допустимые пределы, устойчивость каждой из первых трех функций резко уменьшается. Роль человечества в снижении, а затем и разрушении устойчивости каждой из функций – решающая.

С проблемами ограниченности природных ресурсов (возобновимых и невозобновимых) и загрязнением окружающей среды человечество в принципе может справиться, и такие подходы обсуждались в этой книге. Что касается восстановления антропогенно нарушенных глобальных систем жизнеобеспечения, в том числе проявляющихся в виде экосистем (ландшафтов), то они во многом находятся за пределами возможностей человечества.

По всей видимости, эта ситуация сохранится на ближайшую перспективу, даже если правительства стран мира коренным образом изменят систему приоритетов по отношению к экосфере и ее элементам. Отсюда вытекает реальная возможность переступания через порог устойчивости экосферы с возникновением опасности для существования всего человечества. Так возникает проблема выживания человечества, и поэтому сохранение устойчивой экосферы – важнейшая проблема XXI века.

Результаты исследований глобальных изменений показывают, что предел устойчивости экосферы, зависящий от все возрастающего антропогенного давления на нее, не ресурсный, а геоэкологический. В истории эволюции экосферы локальные и частные экологические кризисы, в основном естественного происхождения, возникали неоднократно. Во второй половине XX века человечество впервые столкнулось с глобальным геоэкологическим кризисом антропогенного происхождения. Глубокое понимание сложных, междисциплинарных процессов глобальных изменений, их взаимодействия с обществом и разработка стратегий, основанных на этом понимании, может стать важнейшим вкладом геоэкологии в решение проблемы выживания человечества.

Вопрос выживания человечества может рассматриваться как решение системы взаимосвязанных глобальных проблем кризисного характера: геоэкологической, водной, демографической, энергетической, продовольственной, минерально-ресурсной. Как мы видели в предшествующих главах, эти проблемы возникают, потому что пока еще неограниченно растущие потребности общества приходят в противоречие с ограниченными природными ресурсами и «услугами» экосферы.

Невозможно сказать, какая из вышеперечисленных кризисных проблем наиболее опасна или наиболее приоритетна.

Приоритеты человечества в преодолении кризисов изменяются со временем, но сами проблемы не снимаются. Они становятся более сложными, и вся проблема выживания все более усложняется.

Усложнение и углубление кризисных проблем, в конечном итоге, может привести к глобальной катастрофе, проявляющейся не только и не столько в ухудшении общемирового состояния окружающей среды и менее эффективном функционировании геоэкологических «услуг», но и в распаде ранее устойчивых политических, экономических и социальных систем, ухудшении здоровья людей, межнациональных конфликтах, голоде, военных столкновениях и пр. К этим негеоэкологическим, но родственным им, чрезвычайно сложным проблемам современности относятся.

1. Использование атомной энергии: все аспекты, включая вопросы безопасности использования, хранения, транспорта, отходов, вывода из эксплуатации, истинной стоимости продукта.

2. Рост числа случаев и интенсивности смертельно опасных и малознакомых болезней, таких как СПИД, «коровье бешенство», эбола и др.

3. Увеличение роли экологических беженцев или беженцев с заметной экологической составляющей.

4. Деградация генома человека (накопление наследственных болезней, ухудшение здоровья детей, рост числа пенсионеров и пр.).

5. Ухудшение качества жизни большинства людей вследствие роста доли городского населения.

6. Рост наркомании.

7. Распространение зоонозов (клещевой энцефалит, сибирская язва, бешенство, и др.).

Не все кризисные проблемы подойдут к порогу возможной глобальной катастрофы одновременно. Наоборот, они скорее всего достигнут своего пика в различное время, но какая из них вызовет катастрофу первой, сказать заранее невозможно. Как уже обсуждалось выше в разд. 4.1, чтобы избежать катастрофы, необходимо разработать и осуществлять стратегии разрешения кризисных проблем на переходный период, от текущего состояния, близкого к неустойчивости, к устойчивости.

*Проблема антропогенной деградации систем жизнеобеспечения экосферы (геоэкологический кризис)* – основной вопрос данной книги. Она вызвана увеличением антропогенного давления на природные и природно-общественные системы. В результате возникают такие вопросы, как ограниченность природных ресурсов, как возобновимых, так и невозобновимых, дефицит пространства, загрязнение окружающей среды и антропогенная деградация систем жизнеобеспечения (снижение естественной

биологической продуктивности, нарушение глобальных биогеохимических циклов, трансформация и деградация естественных ландшафтов, изменение естественного климата, деградация озонового слоя, ухудшение состояние почв и пр.). Основная стратегия на переходный период – сохранение эффективного функционирования систем жизнеобеспечения на основе понимания того, что предотвращение деградации систем существенно проще и экономичнее, чем их восстановление.

Для выполнения этой сложной задачи необходимо сотрудничество всех государств мира. Именно в этой области накоплен наибольший опыт разработки и выполнения международных конвенций по защите или восстановлению глобальных систем жизнеобеспечения. К этой категории относятся упоминаемые выше соглашения ООН, такие как Конвенция по изменению климата, Конвенция по защите озонового слоя, Конвенция по борьбе с опустыниванием, Конвенция по охране биологического разнообразия и др. Не все конвенции пока эффективно осуществляются, но само согласие правительств сотрудничать в этой области уже является важным фактором политической жизни.

Другие глобальные проблемы кризисного характера теснейшим образом связаны с геоэкологической проблемой.

*Проблема дефицита водных ресурсов и ухудшения их качества (водная проблема)* заключается в том, что во многих районах мира имеющиеся водные ресурсы приемлемого качества не обеспечивают потребность в них, что вызывает серьезные социальные, экономические и политические затруднения. По мере роста населения и его потребностей дефицит водных ресурсов будет усугубляться и становиться все более серьезным препятствием в обеспечении стабильности.

Стратегия на переходный период заключается в более тщательной разработке динамического равновесия между водными ресурсами и их потреблением в рамках долгосрочной системы управления устойчивым развитием региона. Многие водные объекты относятся к нескольким государствам. Региональное международное сотрудничество, основанное на совместном управлении разделяемыми реками, озерами и морями, – важнейший инструмент устойчивости и мира. К этой категории относятся несколько сотен водных объектов, включая такие крупные и важные, как Нил, Дунай, Меконг, Парана, Каспий, Арал, Балтика, Великие озера, Черное море и др.

*Демографическая проблема* заключается в росте численности населения мира и еще большем увеличении его потребностей, так что объем природных ресурсов и геоэкологических «услуг»,

приходящихся на душу населения, сокращается. Стратегия на переходный период должна заключаться в постепенном замедлении роста численности населения, а затем, возможно, и в ее сокращении. Одновременно должно снижаться потребление ресурсов и услуг.

*Энергетическая проблема* заключается в необходимости обеспечения человечества достаточным количеством энергии в настоящее время и на перспективу при условии сохранения благоприятного состояния экосферы с точки зрения климата, биогеохимических циклов и пр. Она решается посредством перехода от современной энергетики, основанной преимущественно на сжигании органического топлива, к использованию солнечной энергии в различных ее формах.

*Продовольственная проблема* – это задача обеспечения растущего населения Земли продуктами питания при сохранении почвы как ресурсной базы сельского хозяйства, а также и соблюдении устойчивого состояния экосферы, то есть при условии решения геоэкологической проблемы. Основное направление стратегии на переходный период – укрепление устойчивости сельского хозяйства при неизбежном росте его интенсивности.

*Минерально-ресурсная проблема* связана с возрастающей потребностью общества в полезных ископаемых. Скорость образования полезных ископаемых значительно меньше скорости их добычи, и потому неизбежны частичные кризисы, связанные с дефицитом того или иного ископаемого, возрастающей стоимостью их добычи и ухудшением состояния окружающей среды вследствие горнорудной деятельности. Стратегия на переходный период заключается в экономии сырья и сохранении устойчивого состояния экосферы, а в более далекой перспективе – в неизбежном переходе к возобновимым заменителям.

Оценки будущего состояния экосферы выполняются на основе сценариев, отвечающих на вопрос «что будет, если?…» Согласно одному из реалистичных сценариев, разработанных в ООН, при условии, что во всех странах мира среднее количество детей в семье снизится до 2,1 чел., пик численности населения мира придется приблизительно на 2050 г., когда он достигнет 9,4 млрд чел. Если отношение общества к использованию природных ресурсов и «услуг» экосферы не изменится, то к 2050 г., по сравнению с настоящим временем, можно ожидать увеличения потребностей в продовольствии, по сравнению с настоящим временем, в 2 раза, в энергии – в 2,2 раза, в воде – в 1,9 раза. В этом случае рост валового производства в мире должен стать за этот период четырехкратным. При этом географическое

распределение природных ресурсов и геоэкологических «услуг» в целом не изменится, но станет еще более контрастным.

Дальнейшие антропогенные изменения экосферы при таком сценарии неизбежны. Использование земли для сельского хозяйства (земледелие и скотоводство) увеличится до 50 % всей свободной от ледников площади суши, при этом площадь лесов сократится еще на 10 %. Спрос на рыбу и другие морские продукты возрастет до 200 млн т в год, тогда как ежегодный прирост рыбных ресурсов мира не превышает 100 млн т. Соответственно будет расширяться разведение рыбы и других морских продуктов в садках (марикультура), что неблагоприятно повлияет на прибрежную зону, в особенности на мангровые побережья. Несмотря на усилия стран контролировать рост парникового эффекта, эмиссия углекислого газа в атмосферу может увеличиться в 2,3 раза, с соответствующими последствиями, обсуждавшимися в разд. V.2.4. и V.2.5. Городское население составит 72 % всего населения Земли. Разница в доходах на одного человека в развитых и развивающихся странах увеличится в 2,8 раза, что приведет к дальнейшему росту политической неустойчивости. Хотя в целом продовольствия в мире будет достаточно, голод в отдельных странах сохранится, потому что он будет связан не с производством продуктов питания, а с их распределением.

Выход экосферы за пределы устойчивости может совершиться не только вследствие развития глобального кризиса, но и из-за обострения региональных проблем. Например, водная проблема, связанная с неизбежно прогрессирующим снижением обеспеченности водными ресурсами (на душу населения) ряда стран Западной, Южной и Юго-Восточной Азии, может привести к таким социальным потрясениям, что раскачается и выйдет за пределы устойчивости вся мировая хозяйственно-политическая система, а через нее и вся экосфера.

Из-за взаимосвязанности явлений в экосфере последствия могут возникать не там, где имеется наибольшее антропогенное давление. Возьмем одну из важнейших проблем – обеспечение растущей потребности в энергии. Потребление горючих ископаемых нарастает очень высокими темпами, но весьма вероятно, что фактором, выводящим экосферу за пределы устойчивости, окажется не дефицит доступных горючих ископаемых, а неприемлемые геоэкологические последствия парникового эффекта, усиливающегося вследствие увеличивающегося сжигания угля, нефти и газа.

Выживание человечества, с его многочисленными междисциплинарными проблемами, воистину важнейшая

проблема современности, но подавляющее большинство членов мирового сообщества не осознают этого.

* * *

Экосфера находится в состоянии острого кризиса. Он развивается на противоречии между неуклонно растущим спросом на природные ресурсы и геоэкологические «услуги», с одной стороны, и ограниченной доступностью ресурсов и пространства, с другой стороны. Несбалансированная взаимосвязь между человечеством и окружающей средой приведет, рано или поздно, к глобальной экологической катастрофе. Отсюда проблема выживания человечества выступает как наиболее важная и срочная. Для ее разрешения Комиссия Брунтланд рекомендовала внедрение стратегии устойчивого развития.

Уже в течение жизни почти целого поколения стратегия устойчивого развития провозглашалась как сверхприоритетная, как главное средство разрешения глобального геоэкологического кризиса. Однако количество и размеры признаков, свидетельствующих об ухудшении состояния окружающей среды, увеличивались, но понимание проблемы общественностью не стало более широко распространенным. В мире около 200 стран. Большинство из них приняло документы или решения, которым присвоено название национальных стратегий устойчивого развития. Многие приняли стратегии устойчивого развития в том виде, насколько они соответствуют текущим интересам данной страны.

Все известные автору планы устойчивого развития государств основаны на стратегии действий «как обычно», то есть на их приоритетном экономическом росте, с выделением относительно небольшой доли расходов на охрану окружающей среды, прежде всего на поддержание приемлемого, в меру сил, качества воды и воздуха, но и этого достичь, как правило, не удается.

Источник энергии практически всех стран мира – горючие ископаемые, доля которых около 80 %. Попытки увеличить вклад других источников энергии дают некоторые результаты, но это изменения порядка единиц процентов, а надо – десятков единиц. Например, использование энергии Солнца в разных формах растет, но суммарное использование солнечной энергии даже в наиболее передовых странах обычно не превышает 10 %. В атомной энергетике, даже если не касаться чрезвычайно серьезных проблем ее использования и предоставить возможности

для ее свободного развития, то и при этом допущении энергетическая проблема вряд ли будет решена, так как необходимо было бы обеспечить ввод в эксплуатацию все новых АЭС в количествах, очевидно превышающих потенциальные возможности стран.

Основой истинного устойчивого развития должны стать возобновимые ресурсы экосферы. Пока что они деградируют со скоростью, значительно превышающей их воспроизводство. Российские и американские авторы, независимо друг от друга, оценивают современную деградацию возобновимых ресурсов мира цифрой 40 % от суммарной биологической продукции, а должно быть 4 %, и во всяком случае не более 10 %. Антропогенные потери биопродуктивности, биомассы и биопотенциала по разрезу полуостров Канин – Москва – Астрахань оцениваются той же цифрой 40 %, по расчетам автора с коллегами.

# Послесловие: намерения и реальность

Обсуждение глобальной экологической ситуации со всей очевидностью указывает на состояние всемирного неблагополучия. Экосфера находится в остром кризисе, с элементами глобальной катастрофы. Кризис развивается вследствие деятельности человека, на основе противоречия между неуклонно растущим спросом на природные ресурсы и экологические «услуги», с одной стороны, и ограниченной доступностью ресурсов и пространства, с другой стороны. Очевидно, что несбалансированная взаимосвязь между человечеством и окружающей его средой приведет, рано или поздно, к глобальной экологической катастрофе. Деградация экосферы продолжается, и проблема сохранения цивилизации и выживания человечества становится проблемой человечества номер один.

Процесс деградации начался несколько тысячелетий тому назад. Он возрастал экспоненциально: вначале незначительно, а затем все более заметно. В течение последних десятилетий деградация экосферы стала предметом острых дискуссий и действий как правительственных, так и общественных организаций на национальном и глобальном уровнях. Роль и влияние экологических движений возрастала.

Независимо от предпринимаемых действий общественности и правительств, за прошедшее после Рио десятилетия практически все индикаторы состояния окружающей среды указывают на прогрессирующую деградацию экосферы. Обширная Программа на XXI век не стала в действительности всемирной программой действий. Ряд всемирных экологических конвенций, заключенных за последние 10–20 лет, можно рассматривать как большой успех, но они лишь в малой степени влияют на экологическое состояние мира. Политики по большей части перестали использовать экологические лозунги. Мир все еще велик по сравнению с попытками улучшения ситуации. Основная часть пара от паровоза уходит в гудок, поезд движется медленно и не всегда в нужном направлении.

Для решения проблемы эффективного соотношения окружающей среды и развития Комиссия Брунтланд рекомендовала внедрение стратегии устойчивого развития. С того времени, то есть практически на протяжении жизни целого поколения, устойчивое развитие провозглашалось как

сверхприоритетная стратегия, как главное средство разрешения глобального геоэкологического кризиса.

В мире около 200 стран. Большинство из них приняло документы или решения, которым присвоено название национальных стратегий устойчивого развития. Многие приняли так называемые стратегии устойчивого развития в том виде, насколько они соответствуют текущим интересам стран, в частности, поддержанию их устойчивости, не обязательно экологической.

Планы устойчивого развития стран основаны на стратегии действий «как обычно» («as usual»), то есть на приоритете экономического роста, с выделением относительно небольшой доли средств на охрану окружающей среды, прежде всего на поддержание приемлемого, в меру сил, качества воды и воздуха, но и этого удается достичь лишь немногим богатым странам.

Основой истинно устойчивого развития должны стать возобновимые ресурсы экосферы. Пока что они деградируют со скоростью, значительно превышающей их воспроизводство. Это относится к ресурсам воды и почвы, к биологической продуктивности и биологическому разнообразию, к пространственному распространению и состоянию природных и антропогенных экосистем.

Несмотря на принятие так называемых национальных стратегий устойчивого развития во многих странах и на порядок большее число предлагаемых стратегий, пока нет примеров успешного управления экосферой при ведущей роли возобновимых ресурсов на национальном или, тем более, глобальном уровне. Стратегия устойчивого развития зашла в тупик.

Попытки выхода на наднациональный уровень в стратегии устойчивого развития делались. К этим попыткам надо прежде всего отнести три ключевые Конференции ООН – Стокгольмскую 1972 г., в Рио-де-Жанейро 1992 года и в Йоханнесбурге в 2002 г. Несомненно, что конференции принесли положительные результаты в деле консолидации экологических движений различных типов.

Вместе с тем эти конференции ООН по большому счету и с позиций исторической перспективы можно рассматривать как провал. Последние 30 лет, от Стокгольма (1972) до Йоханнесбурга (2002), не изменили уже привычной тупиковой ситуации: разграбления ресурсов, пренебрежения биологическими аспектами управления геоэкосистемами и нежелания зажиточной части всемирного сообщества поступиться некоторой долей ее благополучия. Общий положительный эффект

выполняемых проектов в области проблем окружающей среды и развития очевидно скромнее общей деградации экосферы. Ее состояние ухудшается, несмотря на конференции, публикации, конвенции и прочие действия, в определенной степени полезные, но не изменяющие сущности процесса деградации.

Имеются все основания полагать, что устойчивое развитие, как и многие другие утопии, недостижимо. Разве не столь же утопична, но недостижима абстрактно красивая идея коммунизма?

Антропогенная трансформация экосферы за последние полстолетия, достигшая уровня глобального геоэкологического кризиса, холодные и горячие войны, экономические депрессии и кризисы, глобализация деятельности человека, конфессиональные конфликты и пр. быстро изменяли состояние здоровья и благополучия людей на Земле при возрастающих имущественных и социальных различиях. Эти и многие другие факторы поставили безопасность каждого индивидуума на наивысшую ступень в системе глобальных приоритетов.

Морально-этические вопросы формирования и развития личности также, видимо, относятся к этой категории проблем. Сценарии дальнейшего развития событий в мире приводят к заключению, что человек и человечество столкнутся с большими трудностями в процессе выхода из кризиса или, что еще хуже, в процессе дальнейшей катастрофической деградации экосферы. Вероятно, наиболее трудно будет научиться достижению соглашений о совместных действиях на глобальном, экосферном уровне. Чтобы выйти из глобального геоэкологического кризиса, людям необходимо будет, в конечном итоге, придти к кодексу поведения для согласованного принятия и исполнения решений на глобальном уровне, иными словами, для попыток координированного управления экосферой.

Задача современности – найти пути реального перехода от утопии к действительному и эффективно работающему механизму глобального управления.

Морально-этический комплекс должен играть главнейшую роль в решении вопросов глобального геоэкологического кризиса.

За надеждами ожидаемых успехов устойчивого развития кроется слепая вера в возможности человека. Вероятно, устойчивое развитие было в какой-то степени возможно, пока население мира было 1–2 миллиарда человек. Сейчас, при более чем 6 миллиардах, устойчивое развитие – это поиск невозможного, поскольку это попытка научиться управлять сверхсложной машиной, детали механизма которой от нас скрыты. Дальнейшая деградация экосферы, вероятно, принесет

еще больше сложностей в попытках решить важнейшую геоэкологическую проблему XXI века.

# Литература


*Акимова Т.А., Кузьмин А.П., Хаскин В.В.* Экология: природа – человек – техника: учебник для вузов. М.: Экономика, 2007.

*Акимова Т.А., Хаскин В.В.* Экология: человек – экономика – биота – среда: учебник для вузов. М.: ЮНИТИ, 2007.

*Алымов В.Т., Тарасова Н.П.* Техногенный риск: анализ и оценка: учеб. пособие. М.: Академкнига, 2007.

*Анисимов А.В.* Прикладная экология и экономика природопользования: учеб. пособие. Ростов н/Д.: Феникс, 2007.

Биологический контроль окружающей среды: биоиндексация и биотестирование: учеб. пособие / О.П. Мелехова, Е.И. Егорова, ред. М.: Академия, 2007.

*Бродский А.К.* Общая экология: учебник для вузов. М.: Академия, 2008.

*Ветошкин А.Г.* Теоретические основы защиты окружающей среды: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 2008.

*Голубев Г.Н.* Геоэкология: учебник для студентов вузов. М.: Аспект Пресс, 2006.

*Горелов А.А.* Экология: учебник для вузов. М.: Академия, 2007.

*Калыгин В.Г.* Промышленная экология: учеб. пособие. М.: Академия, 2007.

*Комарова Н.Г.* Геоэкология и природопользование: учеб. пособие. М.: Академия, 2007.

*Коробкин В.И., Передельский Л.В.* Экология: учебник для вузов. Ростов н/Д.: Феникс, 2008.

*Маврищев В.В.* Основы экологии: учебник для вузов. Минск: Вышэйшая школа, 2007.

*Мотузова Г.В., Безуглова О.С.* Экологический мониторинг почв: учебник для вузов. М.: Гаудеамус, 2007.

Промышленная экология: учеб. пособие / Денисов В.В., ред. Ростов н/Д.: МарТ, 2007.

*Прохоров Б.Б.* Социальная экология: учебник для вузов. М.: Академия, 2007.

*Рудский В.В., Стурман В.И.* Основы природопользования: учеб. пособие. М.: Аспект Пресс, 2007.

*Страхова Н.А., Омельченко Е.В.* Экология и природопользование: учеб. пособие. Ростов н/Д.: Феникс, 2007.

*Тетиор А.Н.* Городская экология: учеб. пособие. М.: Академия, 2007.

*Трифонова Т.А., Селиванова Н.В., Мищенко Н.В.* Прикладная экология: учеб. пособие. М.: Гаудеамус, 2007.

Экологический мониторинг: учебно-методическое пособие / Ашихмина Т.Я., ред. М.: Академический Проект, 2008.

Экология и экономика природопользования: учебник для вузов / Гирусов Э.В., ред. М.: ЮНИТИ, 2007.

Экология. Геоэкология недропользования: Учебник для вузов / Милютин А.Г., ред. М.: Высшая школа, 2007.

Экология: учеб. пособие / Белов С.В., ред. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2007.

*Ясаманов Н.А.* Основы геоэкологии: учеб. пособие. М.: Академия, 2008.

# Тематическая подборка издательства «КНОРУС»

*Бродский А.К.* Экология: учебник. М.: КНОРУС, 2012.

*Передельский Л.В.* Экология и охрана окружающей среды: учебник. М.: КНОРУС, 2013.

*Тягунов Г.В.* Экология: учебник. М.: КНОРУС, 2012.

**notes**

# Примечания

# 1

Более детальные, количественные показатели теплового баланса Земли в целом, атмосферы и поверхности Земли можно найти в учебнике С.П. Хромова и М.А. Петросянца «Метеорология и климатология» (М.: Изд-во МГУ, 2001).

Caring for the Earth. IUCN/UNEP/WWF, 1991.

# 3

Для более углубленного изучения этих вопросов рекомендуется учебник С. П. Хромова и М. А. Петросянца «Метеорология и климатология», 4-е изд. М.: Изд-во МГУ, 1994. 520 с.

# 4

Для более углубленного изучения вопросов гидрологии рекомендуется учебник В. Н. Михайлова и А. Д. Добровольского «Общая гидрология». М.: Изд. «Высшая школа», 1991. 368 с.

*Львович М.И.* Вода и жизнь. М.: Мысль, 1986.

*Golubev G.* & *Biswas A.* (Editors). Interregional Water Transfers: Problems and Prospects. Pergamon Press, Oxford. 1979.

*Golubev G. & Biswas A.* (Editors). Large-Scale Water Transfers: Emerging Environmental and Social Experiences. UNEP: Tycooly Publishing Limited, 1985.

Уровень воды в заливе Карабогазгол на несколько метров ниже уровня Каспия, что обеспечивает постоянный поток воды в одном направлении, с последующим ее испарением в заливе. Это уникальный компонент водного баланса.

# 8

«Решение проблемы загрязнения воды не в ее разбавлении» (англ.)

Berger W.H., 1989. Global Maps of Ocean Productivity. In: Productivity of the ocean: Present and Past, de W.H.Berger, V.S. Smetacek and G. Wefer (Eds.). John Wiley and Sons, Chichester. Pp. 429–455.

Для более углубленного изучения этих вопросов рекомендуется учебник М.А. Глазовской и А.Н. Геннадиева «География почв с основами почвоведения» (М.: Изд-во МГУ, 1995).

# 11

Для более углубленного изучения вопросов геологии и геоморфологии имеется ряд учебников. Можно рекомендовать, в частности, «Основы геологии» Короновского Н. В. и Якушовой А. Ф., М.: Высшая школа, 1991 и «Общая геоморфология» Леонтьева О. К. и Рычагова Г. И., М.: Высшая школа, 1988.

Для более углубленного изучения особенностей биосферы рекомендуется учебник А.Г. Воронова «Биогеография с основами экологии» (М.: Изд-во МГУ, 1987).

*Горшков В.Г.* Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНИТИ. 1995.

# 14

Более детально с основными особенностями зональности ландшафтной сферы Земли можно ознакомиться в учебнике «Физическая география материков и океанов» под редакцией А. М. Рябчикова (М.: Высшая школа, 1988, раздел «Основные черты развития геосферы и планетарная дифференциация ее ландшафтов». С. 6–66).

*Куракова Л.И.* Антропогенные ландшафты. М.: Изд-во Моск. ун-та,

# 16

См., например, учебное пособие «Инженерная экология» для студентов высших технических учебных заведений, подготовленное И.И. Мазуром, О.И. Молдавановым и В.Н. Шишовым, под общей редакцией И.И. Мазура (Том I. М.: Высшая школа, 1996); Теоретические основы инженерной экологии: справочное пособие. М., 1997. Т. II.